

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



(43) 国際公開日
2000年12月7日 (07.12.2000)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 00/73738 A1

(51) 国際特許分類: G01B 11/24

(21) 国際出願番号: PCT/JP00/03332

(22) 国際出願日: 2000年5月24日 (24.05.2000)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(30) 優先権データ:
特願平11/146904 1999年5月26日 (26.05.1999) JP

(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 三洋電機株式会社 (SANYO ELECTRIC CO., LTD.) [JP/JP]; 〒570-8677 大阪府守口市京阪本通2丁目5番5号 Osaka (JP).

(72) 発明者; および

(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 藤田日出人 (FUJITA, Hideto) [JP/JP]. 吉田博明 (YOSHIDA, Hiroaki)

[JP/JP]. 蚊野 浩 (KANO, Hiroshi) [JP/JP]. 福本晋平 (FUKUMOTO, Shimpei) [JP/JP]; 〒570-8677 大阪府守口市京阪本通2丁目5番5号 三洋電機株式会社内 Osaka (JP).

(74) 代理人: 香山秀幸 (KAYAMA, Hideyuki); 〒533-0033 大阪府大阪市東淀川区東中島一丁目18番27号 新大阪丸ビル新館9階 Osaka (JP).

(81) 指定国 (国内): US.

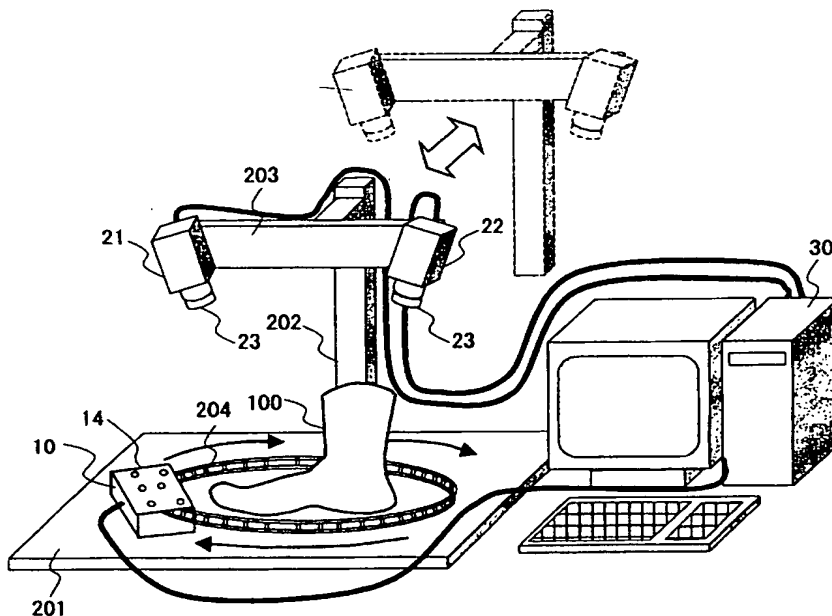
(84) 指定国 (広域): ヨーロッパ特許 (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).

添付公開書類:
— 国際調査報告書

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

(54) Title: SHAPE MEASURING DEVICE

(54) 発明の名称: 形状測定装置



(57) Abstract: A shape measuring device comprises a measuring head moveable along a guide rail; first position detection means for detecting the position of the measuring head on the guide rail with respect to a predetermined position on the guide rail; second position detection means for detecting the position of the measuring head on the guide rail using the world coordinate system; and means for allowing memory to store the relations between the head positions on the guide rail with respect to the predetermined position and their corresponding positions in the world coordinate system.

[続葉有]

WO 00/73738 A1



(57) 要約:

ガイドレールに沿って移動せしめられる測定ヘッド、ガイドレール上の所定位置を基準として、ガイドレール上での測定ヘッドの位置を検出する第1位置検出手段、ガイドレール上の測定ヘッドのワールド座標系での位置を検出する第2位置検出手段、ガイドレール上の所定位置を基準としたガイドレール上の測定ヘッドの各位置と、対応するワールド座標系での位置とを、関連付けて記憶装置に記憶する手段を備えている。

明 細 書

形状測定装置

5 <技術分野>

本発明は、3次元形状を測定する形状測定装置に関し、特に、足の形を測定するのに適した形状測定装置に関する。

<背景技術>

一般に、靴のサイズは通常かかとから指先までの長さで表現されるが、人の足
10 形状は、長さだけでなく、甲の高さ、足の幅など、個人により様々である。一人一人の足の形状に応じた靴を作ろうとする場合、足の3次元形状を測定することが必要となるが、現状では、メジャーを使って足長、足幅、足位（足周り）等の限られた部位の大きさを測定するにとどまっている。

一方、スポット光またはスリット光を被測定物に照射し、被測定物の表面に観
15 察される光像の位置から3次元形状を復元する能動ステレオ型の形状測定装置が知られている。この形状測定装置は、被測定物の表面形状を測定するために、スポット光またはスリット光を回転ミラーによって走査させるものであり、雑誌「計測と制御」（1999 Vol. 38 No. 4 P285-P288）には、このような形状測定装置を用いて、足の形状を測定するシステムが記載されている。

20 このシステムにおいては、1個の形状測定装置では、装置から観察される部分の形状のみ測定可能であり、その反対側などの隠れている部分の形状を測定することができないため、12個の形状測定装置を足の周囲に配置し、これら12個の形状測定装置による測定結果をコンピュータ上で合成することにより足全体の形状を測定している。

25 しかしながら、このシステムでは、複数の形状測定装置を足の周囲に配置するため、システムが大型化し、且つ高価となるだけでなく、複数の形状測定装置による測定結果を精度良く合成することが困難になるという問題がある。

これに対し、本願出願人は、コンパクトな測定ヘッドを手にて把持し、被測定物の周りで測定ヘッドを移動させることにより測定を行う形状測定装置を既に開発している（特開 2000-39310 号参照）。この形状測定装置では、測定ヘッドに取り付けられた複数のマーカを 2 台のカメラによって上方から撮像することにより、測定ヘッドの位置及び向きを測定している。

この提案では、測定ヘッドの移動範囲の全てを 2 台の上方カメラから撮影する必要があるため、カメラの共通視野を広くとるために測定対象から離れた位置に 2 台のカメラを設置することとなり結果的に大きな設置スペースが必要となる。また、測定ヘッドのマーカの一部が 2 台のカメラの共通視野から外れたり、被測定物や測定ヘッドを把持する測定者の手により隠れてしまったりした場合、被測定物の形状測定が出来なくなるため、測定者は、常時、2 台のカメラによって測定ヘッドのマーカが撮像されるように注意を払わなければならないという煩わしさがあった。

この発明は、コンパクトな装置構成で、使用者がカメラの視野を意識することなく被測定物の形状測定を行うことができ、使用感を向上させた形状測定装置を提供することを目的とする。

また本発明は、少ない測定手順で適切な 3 次元形状を測定することができる形状測定装置を提供することを目的とする。

20 <発明の開示>

この発明による第 1 の形状測定装置は、ガイドレールに沿って移動せしめられる測定ヘッド、ガイドレール上の所定位置を基準として、ガイドレール上での測定ヘッドの位置を検出する第 1 位置検出手段、ガイドレール上の測定ヘッドのワールド座標系での位置を検出する第 2 位置検出手段、ガイドレール上の所定位置を基準としたガイドレール上の測定ヘッドの各位置と、対応するワールド座標系での位置とを、関連付けて記憶装置に記憶する手段、ガイドレール上の各測定位置において、第 1 位置検出手段によって測定ヘッドの位置を検出するとともに、

測定ヘッドを用いて、測定ヘッド中心の座標系における被測定物上の測定点の座標を求める測定手段、ならびにガイドレール上の各測定位置において求められた測定ヘッド中心の座標系における被測定物上の測定点の座標を、記憶装置に記憶されているガイドレール上の各測定位置に対応するワールド座標系での位置に基づいて、ワールド座標系の座標に変換する手段を備えていることを特徴とする。

このように測定ヘッドの移動をガイドレール上の軌道に制限すると、ガイドレール上の所定位置を基準としたガイドレール上の測定ヘッドの各位置と、測定ヘッドのワールド座標系での位置とが一義的に対応付けられる。このため、ガイドレール上の所定位置を基準としたガイドレール上の測定ヘッドの各位置と、対応するワールド座標系での位置とを、関連付けて記憶装置に記憶しておけば、形状測定の際には、ガイドレール上の所定位置を基準としたガイドレール上の測定ヘッドの位置に対応する測定ヘッドのワールド座標系での位置を記憶装置から読み出して、測定ヘッドを用いて求められた測定点の測定ヘッド中心の座標系における座標をワールド座標系の座標に変換できる。そして、測定ヘッドを、ガイドレールに沿って1周させることにより、被測定物の形状を測定できる。

測定ヘッドとしては、たとえば、被測定物に対して光束を照射する光照射手段、および光照射手段からの光束が照射される被測定物上の測定点を撮像する撮像手段を含んでいるものが用いられる。

測定ヘッドは、ガイドレールに沿って移動するための駆動手段を備えていることが好ましい。

第2位置検出手段としては、たとえば、所定の位置から測定ヘッドを撮像する測定ヘッド撮像手段、および測定ヘッド撮像手段の撮像画像に基づいて、ワールド座標系での測定ヘッドの位置を検出する手段を備えているものが用いられる。

さらに、測定ヘッド撮像手段によって測定ヘッドのワールド座標系での位置を計測しているため、ガイドレールの形状を直線や円など単純な形状に限ることなく自由な形状にすることが可能となる。

また、測定ヘッド撮像手段を、形状測定装置本体に対して着脱可能に構成する

ことが好ましい。このようにすると、被測定物の形状測定の際には測定ヘッド撮像手段を形状測定装置本体から取り外すことができる。

また、測定ヘッドは、ガイドレールに沿って移動するための駆動手段を備えていることが好ましい。このようにすると、測定ヘッドをガイドレールに沿って自動的に走行させることができるので、被測定物の形状測定を自動的に行なうことができるようになる。

また、ガイドレールとしては、被測定物との距離が略一定となる形状をなしているものを用いることができる。このようなガイドレールを用いると、被測定物との間隔を略一定に保ちながら測定ヘッドが移動するため、被測定物と測定ヘッドとの間の距離に依存する測定誤差を均一化させることができる。

被測定物が人間の足である場合には、ガイドレールとして、足の踵からつま先に至る方向に長軸を有する長円形状をなしているものを用いることができる。このようなガイドレールを用いると、足との間隔を略一定に保ちながら測定ヘッドが移動するため、被測定物としての足と測定ヘッドとの間の距離に依存する測定誤差を均一化させることができる。

また、ガイドレールとして、足のつま先から踵に向かって先細りする形状をなしているものを用いてもよい。このようなガイドレールを用いると、つま先から踵に向かって先細りする足の形状に沿って測定ヘッドが移動するため、被測定物と測定ヘッドとの間に依存する測定誤差を均一化させることができる。

この発明による第2の形状測定装置は、測定台上に載置された被測定物の形状を測定する測定ヘッド、測定ヘッドの位置を検出する位置検出手段、ならびに測定ヘッドと位置検出手段との出力に基づいて被測定物の3次元形状を求める演算手段を備えた形状測定装置であって、被測定物を映す鏡を測定台上に配置したことを特徴とする。

位置検出手段としては、たとえば、2台のカメラを用いてステレオ法により測定ヘッドの位置を検出するものが用いられる。

測定ヘッドとしては、たとえば、被測定物に対して光束を照射する光照射手段、

および光照射手段からの光束が照射される被測定物上の測定点を撮像することにより、被測定物の実像と鏡に映った被測定物の虚像とを撮像する撮像手段を含んでいるものが用いられる。

- 鏡としては、表面に光反射面が形成されているものが用いられる。この場合に
- 5 は、演算手段としては、たとえば、撮像手段の撮像画面上での測定点の座標と、光照射手段から出射された光束を表す平面を表す方程式とに基づいて、測定ヘッド中心の座標系での測定点の座標を求める第1手段、第1手段によって求められた各測定点の座標を、位置検出手段による検出結果に基づいて、ワールド座標系の座標に変換することにより、被測定物の実像に対する3次元形状と、鏡に映った被測定物の虚像に対する3次元形状とを求める第2手段、鏡の光反射面を表す
- 10 ワールド座標系での方程式を求める第3手段、鏡の光反射面を表す方程式に基づいて、虚像に対する3次元形状の光反射面に対して対称な3次元形状を求める第4手段、ならびに虚像に対する3次元形状の光反射面に対して対称な3次元形状と、被測定物の実像に対する3次元形状とを合成することにより被測定物の3次元形状を求める第5手段を備えているものが用いられる。
- 15

鏡の光反射面を表す方程式を求める手段としては、たとえば、2台のカメラを用いてステレオ法により光反射面上の3点以上の点の座標を測定する手段、および得られた光反射面上の3点以上の点の座標に基づいて光反射面を表す方程式を求める手段を備えているものが用いられる。

- 20 鏡の光反射面を表す方程式を求める手段としては、たとえば、光反射面上に不透明な薄板を載せた状態で、測定ヘッドを用いて薄板を撮像し、薄板の平面を特定するための3点以上の点の測定ヘッド中心の座標系での座標を抽出する手段、得られた測定ヘッド中心の座標系での3点以上の点の座標を、位置検出手段による検出結果に基づいて、ワールド座標系での座標に変換する手段、および得られたワールド座標系での3点以上の点の座標に基づいて、ワールド座標系での薄板の平面を表す方程式を求める手段を備えているものが用いられる。
- 25

測定ヘッドの光照射手段から照射される光束が、鏡の光反射面に対して垂直に

出射されるように、測定ヘッドの姿勢を規制するガイド手段を設けることが好ましい。ガイド手段は、測定ヘッドの移動経路を規制するものであることが好ましい。測定ヘッドをガイド手段に沿って移動させるための駆動手段を設けることが好ましい。

- 5 測定ヘッドの移動経路全体を覆う筐体を設けてもよい。筐体が被測定物を挿脱するための開口部を備えていてもよい。筐体の開口部に弾性部材からなる蓋部を設け、蓋部に被測定物を挿脱するための切込部を形成してもよい。

- 鏡として、表面に光反射面が形成された光反射板と、光反射板上に形成された透明板とからなるものを用いてもよい。この場合には、演算手段としては、たとえば、被測定物の実像上の測定点に対しては、撮像手段の撮像画面上での測定点の座標と、光照射手段から出射された光束を表す平面を表す方程式とに基づいて、測定ヘッド中心の座標系での測定点の座標を求める第1手段、鏡に映った被測定物の虚像上の測定点に対しては、撮像手段の撮像画面上での測定点の座標値を鏡の透明板の屈折量を考慮して補正した後の座標値と、光照射手段から出射された
- 10 光束を表す平面の方程式を鏡の透明板の屈折量を考慮して補正した後の方程式とに基づいて、測定ヘッド中心の座標系での測定点の座標を求める第2手段、第1手段および第2手段によって求められた各測定点の座標を、位置検出手段による検出結果に基づいて、ワールド座標系の座標に変換することにより、被測定物の実像に対する3次元形状と、鏡に映った被測定物の虚像に対する3次元形状とを
- 15 求める第3手段、鏡の光反射面を表すワールド座標系での方程式を求める第4手段、鏡の光反射面を表す方程式に基づいて、虚像に対する3次元形状の光反射面に対して対称な3次元形状を求める第5手段、ならびに虚像に対する3次元形状の光反射面に対して対称な3次元形状と、被測定物の実像に対する3次元形状とを合成することにより被測定物の3次元形状を求める第6手段を備えているもの
- 20 が用いられる。
- 25

鏡の光反射面を表す方程式を求める手段としては、たとえば、2台のカメラを用いてステレオ法により、鏡が載置された測定台上の3点以上の点の座標を測定

する手段、および得られた測定台上の 3 点以上の点の座標に基づいて光反射面を表す方程式を求める手段を備えているものが用いられる。

測定ヘッドの光照射手段から照射される光束が、鏡の光反射面に対して垂直に出射されるように、測定ヘッドの姿勢を規制するガイド手段を設けることが好ましい。

<図面の簡単な説明>

図 1 は、第 1 の実施の形態における形状測定装置の外観を表す斜視図である。

図 2 は、測定ヘッドを示す斜視図である。

10 図 3 は、測定ヘッドを示す正面図である。

図 4 は、測定ヘッドを示す平面図である。

図 5 は、測定原理を説明する説明図である。

図 6 は、第 1 ステップにおける処理手順を説明するフローチャートである。

図 7 は、測定ヘッドによる測定点の位置測定方法を説明する説明図である。

15 図 8 は、ガイドレールの他の形状を示す平面図である。

図 9 は、第 2 の実施の形態における形状測定装置の外観を表す斜視図である。

図 10 は、第 4 ステップで得られる足の像を示す説明図である。

図 11 は、第 5 ステップで得られる足の像を示す説明図である。

図 12 は、形状測定装置の他の構成を表す概略構成図である。

20 図 13 は、形状測定装置のさらに他の構成を表す概略構成図である。

図 14 は、形状測定装置のさらに他の構成を表す概略構成図である。

図 15 は、表面に光反射面が形成された光反射板と光反射板上に形成された透明ガラス板とからなる鏡を用いた場合に、透明ガラス板で光が屈折する様子を示す模式図である。

25 図 16 は、スリット光源および CCD カメラの画像面が、透明ガラス板の手前側に位置しており、被測定物が透明ガラス板の向こう側に位置している場合における補正方法を説明するための模式図である。

図 1 7 は、被測定物に照射される際の光束を表す方程式の補正方法を説明するための模式図である。

図 1 8 は、透明ガラス板から出力される光束の平面と、透明ガラス板に入射される元の光束の平面との距離 R の算出方法を説明するための模式図である。

5 図 1 9 は、画像面 S 上での測定点の座標を補正するための第 1 方法を説明するための模式図である。

図 2 0 は、光軸 (z 軸) を含みかつ透明ガラス板に垂直な平面 Q を示す模式図である。

10 図 2 1 は、光軸を含みかつ透明ガラス板に垂直な平面 Q と、画像面との交線を示す模式図である。

図 2 2 は、画像面上で観察された画像を補正した場合の例を示す模式図である。

図 2 3 は、画像面 S 上での測定点の座標を補正するための第 2 方法を説明するための模式図である。

15 図 2 4 は、図 2 3 の直線 L を含みかつ透明ガラス板 4 0 0 に垂直な平面 Q を示す模式図である。

図 2 5 は、図 2 3 の直線 L を含みかつ透明ガラス板に垂直な平面 Q と、画像面との交線を示す模式図である。

< 発明を実施するための最良の形態 >

20 [A] 第 1 の実施の形態の説明

以下、図 1 ～図 8 を参照して、この発明の第 1 の実施の形態について説明する。

[A-1] 形状測定装置の概略構成の説明

図 1 は、形状測定装置の概略構成を示している。

25 測定台 2 0 1 には、長円形状のガイドレール 2 0 4 が固定されており、そのガイドレール 2 0 4 で囲まれる領域に被測定物としての足 1 0 0 が載せられている。また、台 2 0 1 には、台 2 0 1 に対して脱着可能な支柱 2 0 2 が取り付けられており、その上部には、水平バー 2 0 3 が取り付けられている。

形状測定装置は、測定者によってガイドレール 204 上を移動せしめられる測定ヘッド 10 と、水平バー 203 の両端部に取り付けられたステレオカメラ 21、22 と、それらの制御、各種演算等を行うパーソナルコンピュータからなる制御装置 30 とを備えている。各ステレオカメラ 21、22 の撮像レンズには、図 2 に示すマーカ 14 が放つ光の周波数帯を選択的に透過するバンドパスフィルタ 23 が取り付けられている。

〔A-2〕 測定ヘッドの概略構成の説明

図 2、図 3 および図 4 は、測定ヘッド 10 の概略構成を示している。

測定ヘッド 10 は、直方体状で前方開口のケーシング 11 と、ケーシング 11 内に収納された 1 台の CCD カメラ 12 及びスリット光源 13 と、ケーシング 11 の上面に設けられた 6 つの LED 光源 14a ~ 14f からなるマーカ 14 とを備えている。スリット光源 13 としては、半導体レーザが用いられている。

マーカ 14 を構成する 6 つの LED 光源 14a ~ 14f は、測定ヘッド 10 の方向を特定するために、点対称な配置とせず、測定ヘッド 10 の中心線に対し線対称な配置となっている。ここでは、ケーシング 11 の上面に LED 光源 11b、11c、11d、11e、11f の 5 点が長方形をなすように配置され、それら 5 点の重心に LED 光源 11a が配置される。

なお、3次元空間中での測定ヘッド 10 の位置及び方向を測定するためには、マーカとして少なくとも 3 個の LED 光源があれば十分であるが、4 個以上の LED 光源を用いることにより、測定ヘッド 10 の位置及び方向の測定精度が最小 2 乗的に向上する。

測定ヘッド 10 は、図示しない支持機構によって、ガイドレール 204 に沿って移動可能に取り付けられている。また、測定ヘッド 10 は、ガイドレール 204 上における所定位置を基準とした測定ヘッド 10 の位置を検出するためのエンコーダ 16 を備えている。エンコーダ 16 の出力は、制御装置 30 に入力される。

〔A-3〕 形状測定装置の測定原理の説明

図 5 は、形状測定装置の測定原理を示している。

測定者によってガイドレール 204 上を移動せしめられる測定ヘッド 10 を用いてある測定点 A の座標を測定する。測定された座標を測定ヘッド中心の座標系（以下、カメラ座標系という）における座標（x, y, z）で表す。この座標系は、測定ヘッド 10 の移動とともに移動する座標系である。

- 5 一方、被測定物 100 の形状は、固定した座標系で表され、この座標系をワールド座標と呼ぶ。測定ヘッド 10 によって測定された測定点のワールド座標系における座標を（X, Y, Z）とする。被測定物 100 の形状はワールド座標系で記述する必要があるため、測定ヘッド 10 によって測定された測定点 A の測定ヘッド中心の座標系における座標（x, y, z）を、ワールド座標系に変換する。
- 10 この変換は、測定ヘッド 10 の移動を表す回転行列 R と並進ベクトル t とを用いて、次式（1）に基づいて行われる。

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = R \cdot \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} + t \quad \cdots \quad (1)$$

- 15 したがって、ワールド座標系における測定ヘッド 10 の位置及び方向を、回転行列 R と並進ベクトル t として求めることで、測定ヘッド中心の座標系における座標（x, y, z）を、ワールド座標系に変換することができる。

〔A-4〕 形状測定装置による形状測定処理手順の説明

この形状測定装置による形状測定は、次のような処理手順によって実行される。

- 20 まず、実際の形状測定を行う前に、事前処理を行う。

（1）第 1 ステップ（事前処理）：ワールド座標系における測定ヘッド 10 の各測定位置に関する情報を、測定ヘッド 10 の各測定位置におけるエンコーダ 16 の出力値と対応付けて、制御装置 30 に搭載されたメモリ（図示省略）に格納する。

- 25 事前処理の後に以下のステップ 2 および 3 からなる形状測定処理を行なう。形

状測定処理は、ステレオカメラ 21、22 を支持する支柱 202 を測定台 201 から取り外して行なうことができる。

- (2) 第 2 ステップ：ステレオカメラ 21、22 を支持する支柱 202 を測定台 201 から取り外した後、測定ヘッド 10 を用いて、カメラ座標系における被測定物 100 上の測定点の座標を求める。

(3) 第 3 ステップ：ワールド座標系における測定ヘッド 10 の位置に関する情報に基づいて、カメラ座標系における被測定物上の測定点の座標を、ワールド座標系における座標に変換する。

以下、これら各ステップについて説明する。

10 [A-4-1] 第 1 ステップの説明

図 6 は、第 1 ステップの処理手順を説明するフローチャートである。

まず、測定ヘッド 10 をガイドレール 204 の基準位置に配置して（ステップ S01）、その位置におけるエンコーダ 16 の出力値を制御装置 30 のメモリに格納する（ステップ S02）。

- 15 次に、測定ヘッド 10 に設けられたマーカ 14 のワールド座標系における座標を、ステレオカメラ 21、22 によって測定する。この位置測定方法は、ステレオ法としてよく知られているため、その説明を省略する（ステップ S03）。

- 次に、マーカ 14 を構成する各 LED 光源 14a ~ 14f のカメラ座標系の座標をそれぞれ (x_i, y_i, z_i) とし、また、ステレオカメラ 21、22 によって測定された各 LED 光源 14a ~ 14f のワールド座標系における座標をそれぞれ (X_i, Y_i, Z_i) とする。但し、 i は、1、2...6 である。各 LED 光源 14a ~ 14f のカメラ座標系の各座標 (x_i, y_i, z_i) は、既知である。

- 25 測定ヘッド 10 の移動を表す回転行列 R と並進ベクトル t を、次式 (2) を満足する行列 R とベクトル t として求める（ステップ S04）。そして、求めた行列 R とベクトル t とを、先にメモリに格納しておいたエンコーダ 16 の出力値と対応付けてメモリに格納する（ステップ S05）。

$$\min \sum_i [(X_i - x_i)^2 + (Y_i - y_i)^2 + (Z_i - z_i)^2]$$

here ... (2)

$$\begin{pmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \end{pmatrix} = R \cdot \begin{pmatrix} x_i \\ y_i \\ z_i \end{pmatrix} + t$$

そして、測定ヘッド10をガイドレール204に沿って移動させ、全ての測定位置について上述したステップS02～S05の処理を繰り返す（ステップS06、S07）。これにより、エンコーダ16の出力値とその位置における回転行列R及び並進ベクトルtを対応付けたテーブルデータが生成され、制御装置30のメモリに格納される。

〔A-4-2〕第2ステップについての説明

図7は測定ヘッド10による測定点の位置測定方法を示している。

10 図7に示すように、カメラ座標系とは、CCDカメラ12の光学中心を原点とし、光軸方向をz軸、CCDカメラ12の水平方向をx軸、CCDカメラ12の垂直方向をy軸とする座標系である。CCDカメラ12の画像面Sは、原点から焦点距離fの位置に存在する。つまり、画像面Sは、x-y平面に平行でかつz=fである平面である。

15 測定ヘッド10による位置計測方法自体は、光切断法と呼ばれる公知の測定方法である。被測定物100の表面上におけるスリット光源13からのスリット光が照射されている線上の所定の点を測定点Aとする。

この測定点Aのカメラ座標系での座標を(x, y, z)とし、画像面S上での測定点Aに対応する観察点A'の座標を(x_s, y_s, f)とし、スリット光を表す平面の方程式をa₁・x + b₁・y + c₁・z + d₁ = 0とする。観察点A'の座標(x_s, y_s, f)におけるfは、CCDカメラ12の焦点距離として既知であり、(x_s, y_s)は画像面で観察されるスリット光の画素位置から求められる。

20

スリット光を表す平面の方程式は測定ヘッド10の校正によって求められている。したがって、 x 、 y 、 z 、 α を未知数とする次式(3)で表される連立方程式を解くことにより、 (x, y, z) が求められる。

$$a_L x + b_L y + c_L z + d_L = 0 \quad \dots (3)$$

$$x = \alpha \cdot x_s$$

$$y = \alpha \cdot y_s$$

$$z = \alpha \cdot f$$

5

この処理は、CCDカメラ12の出力に基づいて、制御装置30によって行われる。

〔A-4-3〕第3ステップについての説明

第3ステップでは、まず、エンコーダ16の出力に基づいて、制御装置30のメモリから対応する回転行列 R と並進ベクトル t が読み出される。

次に、得られた回転行列 R と並進ベクトル t とに基づいて、第3ステップで求めたカメラ座標系における足100上の測定点の座標を、ワールド座標系の座標に変換する。

そして、測定ヘッド10をガイドレール204に沿って移動させながら、ガイドレール204上における全ての観察位置について、第2ステップ及び第4ステップの処理を繰り返すことにより、その都度得られる測定点のワールド座標系における座標 (X, Y, Z) の集合として、足100の形状が求められる。

このように、上記実施の形態によれば、ガイドレール204上の所定位置を基準とした測定ヘッド10の位置とその位置に対応した回転行列 R 及び並進ベクトル t とを対応付けたテーブルデータを用いて、測定ヘッド10を用いて得られた測定点の測定ヘッド中心の座標系における座標をワールド座標系における座標に変換しているため、形状測定にあたってステレオカメラ21、22が不用となる。このため、コンパクトな構成で、且つ、使用者がカメラの視野やコードの絡みを

20

意識することなく被測定物の形状測定を行うことができるようになる。

また、上記実施の形態によれば、事前処理においてガイドレール 204 上の測定ヘッド 10 の位置をステレオカメラ 21、22 によって測定しているので、ガイドレール 204 の形状としては、直線や円などの単純な形状に限られることなく、被測定物の形状に応じて長円形状をはじめ任意の曲線形状に構成することが可能となる。

また、上記実施の形態によれば、ガイドレール 204 を長円形状に構成しているので、被測定物 100 として人の足を用いる場合には、その足との間隔を略一定に保ちながら測定ヘッド 10 が移動する。これにより、足と測定ヘッドとの間の距離に依存する測定誤差が均一化され、測定により得られる足の形状データ全体について、一定以上の精度を保つことができる。

更に、長円形状のガイドレール 204 において曲率の大きな部分につま先部分と踵部分が位置することになるため、足の側部と比較して、つま先部分と踵部分の測定データをより詳細に取得することができる。つま先部分には外反母趾による変形が現れていたり、踵部分にはタコによる変形が現れていたりして、足の形状を測定する上では、この部分の形状が特に重要となるため、このつま先部分と踵部分の形状データが詳細に取得できれば、精度の高い足の形状測定を行うことができる。

また、測定台 201 に対してステレオカメラ 21、22 が取り外し可能に構成されているため、装置の設置や移動に伴ってガイドレール 204 の軌道が変化した場合には、ステレオカメラ 21、22 を取り付けてテーブルデータの登録もしくは更新を行うことにより、精度を保つことができ、より高い信頼性を提供することが可能となる。

なお、上記実施の形態においては、測定ヘッド 10 を手動で移動させる構成としたが、モータを用いて自動的に移動させるように構成してもよい。このようにすると、自動的に被測定物の測定を行うことができるようになる。

また、上記実施の形態においては、ステレオカメラ 21、22 の出力を用いて

ワールド座標系での測定ヘッドの位置に関する情報、すなわち回転行列R及び並進ベクトル t を求めているが、測定台201に対するガイドレール204の軌道が特定されている場合には、ステレオカメラ21、22を用いることなく回転行列R及び並進ベクトル t を求めることができる。

- 5 また、測定ヘッド10としては、能動的なステレオ計測方法によって被測定物上の測定点の位置を測定するものであれば、上述した実施の形態と異なるものであってもよい。例えば、スリット光源13の代わりにスポット光源を用いてもよい。

- 10 また、マーカ14としては、LED光源14a～14fに限定されることなく、ステレオカメラにて抽出可能なものであればよい。例えば、LED光源14a～14fの代わりに反射率の高いシールを用いてもよい。また、マーカ14の個数は、3個以上であればよい。

- 15 また、上記実施の形態においては、足の形状を測定するためにガイドレール204の軌道を長円形状としたが、これに限定されることなく、足の踵部分からつま先部分に向かう方向に長手方向を有する形状であればよい。例えば、円を4つに分割しコーナーを曲線で結んだような形状や、瓢箪のようにくびれがある形状でもよい。

- 20 また、通常、足の形状は、つま先部分より踵部分の方が幅狭の形状をなしているため、ガイドレール204の軌道を、図8に示すように、つま先部分から踵部分に向かって先細りする長円形状にしてもよい。この場合、被測定物と測定ヘッドとの間に依存する測定誤差が更に均一化されるため、測定により得られる足の形状データ全体について、一定以上の精度を保つことができる。

〔B〕第2の実施の形態の説明

- 25 以下、図9～図25を参照して、この発明の第2の実施の形態について説明する。

〔B-1〕形状測定装置の概略構成の説明

図9は、形状測定装置の概略構成を示している。

図9において、図1と同じものには、同じ符号を付してその説明を省略する。

測定台201には、ガイドレール204で囲まれる領域に平板状の鏡205が配置されている。鏡205としては、表面に光反射面を有するステンレスミラー205が用いられている。そして、このステンレスミラー205上に、被測定物としての足100が載せられている。

測定ヘッド10は、図示しない支持機構によって、ガイドレール204に取り付けられており、これにより、スリット光源13から出射される光束がステンレスミラー205に対して垂直な面に沿って出射されるように測定ヘッド10の姿勢が規制されている。

10 [B-2] 形状測定装置による測定処理手順の説明

この形状測定装置による形状測定は、次のような処理手順によって実行される。

(1) 第1ステップ(事前処理1) : ワールド座標系における測定ヘッド10の各測定位置に関する情報を、測定ヘッド10の各測定位置におけるエンコーダ16の出力値と対応付けて、制御装置30に搭載されたメモリ(図示省略)に格納する。

(2) 第2ステップ(事前処理2) : ワールド座標系におけるステンレスミラー205の平面を表す方程式を算出する。

(3) 第3ステップ : 測定ヘッド10を用いて、カメラ座標系における被測定物上の測定点の座標を求める。

20 (4) 第4ステップ : ワールド座標系における測定ヘッド10の位置に関する情報に基づいて、カメラ座標系における被測定物上の測定点の座標を、ワールド座標系における座標に変換する。

(5) 第5ステップ : ワールド座標系における測定点のうち、ステンレスミラー205に映り込んだ虚像上の座標を、実像上の座標に変換する。

25 以下、これら各ステップについて説明する。

[B-2-1] 第1ステップについての説明

この第1ステップは、上記第1の実施の形態の第1ステップと同じであるので

(図6参照)、その詳細な説明を省略する。

〔B-2-2〕第2ステップについての説明

第2ステップでは、まず、測定台201上に設けられたステンレスミラー205を不透明な薄板で覆い、その薄板上の点についてワールド座標系における座標がステレオ法により測定される。

次に、得られた薄板上の点のワールド座標系における座標に基づいて、ステンレスミラー205の平面を表す方程式 $A_M X + B_M Y + C_M Z + D_M = 0$ を算出する。平面の方程式の算出にあたっては、平板上の点として少なくとも3点あればよい。

10 このとき、ステンレスミラー205を不透明な薄板で覆い測定する代わりに、ステンレスミラー205上に少なくとも3個のマーカを設け、そのマーカの位置を計測することにより、ステンレスミラー205の平面の方程式を算出するようにしてもよい。

また、測定ヘッド10を用いて、ステンレスミラー205の平面を表す方程式
15 $A_M X + B_M Y + C_M Z + D_M = 0$ を求めてもよい。つまり、測定台201上に設けられたステンレスミラー205を不透明な薄板で覆い、この薄板を測定ヘッド10によって撮像し、薄板の平面を求めるための3点の座標（カメラ座系での座標）を抽出する。抽出したカメラ座標系での3点の座標を、第1ステップで求められた、当該測定ヘッド10の位置に対応する回転行列 R と並進ベクトル t と
20 に基づいて、ワールド座標系での座標に変換する。得られたワールド座標系での3点の座標に基づいて、ワールド座標系での薄板の平面の方程式を求める。

なお、被測定物を測定台201上に配置して測定を行う以下の処理においては、ステレオカメラ21、22を用いないため、図9に矢印で示すように、支柱202ごと測定台201から取り外して測定が行われる。

25 〔B-2-3〕第3ステップについての説明

この第3ステップは、上記第1の実施の形態の第2ステップと同じであるので、その詳細な説明を省略する。

〔B-2-4〕第4ステップについての説明

この第4ステップは、上記第1の実施の形態の第3ステップと同じであるので、その詳細な説明を省略する。ただし、第2の実施の形態では、図10に示すように、スリット光源13からの光束が足100に対して直接照射された測定点から生成された実像 I_1 （図10に破線で示す）と、スリット光源13からの光束がステンレスミラー205を介して足100に対して照射された測定点から生成された虚像 I_2 （図10に実線で示す）とからなる足100の像が生成される。

〔B-2-5〕第5ステップについての説明

第5ステップでは、まず、第4ステップにおいて得られた図10に示す足100の像に基づいて、図10に破線で示す足100の実像 I_1 と、図10に実線で示すステンレスミラー205に映った足100の虚像 I_2 とが識別される。

この識別方法について説明する。例えば、第2ステップにおいて得られたステンレスミラー205の平面を表す方程式を $A_M X + B_M Y + C_M Z + D_M = 0$ とする。各測定点のワールド座標系の座標を用いて、測定点毎に $\beta (= A_M X + B_M Y + C_M Z + D_M)$ を求める。 $\beta \geq 0$ となる測定点は、ステンレスミラー205の平面より上側（座標軸上では正側）にあるため、足100の実像 I_1 上の測定点であると識別される。逆に $\beta < 0$ となる測定点は、ステンレスミラー205に映った足100の虚像 I_2 上の測定点であると識別される。

そして、虚像 I_2 のステンレスミラー205の平面に対して対称な像 I_2' を求め、得られた対称な像 I_2' を実像 I_1 と合成することにより、図11に示すような足100の像が得られる。

図11に示すように、このようにして得られた像は、足100の土踏まずの部分が、ステンレスミラー205に映り込んだ虚像 I_2 に基づいて生成された像 I_2' により補われており、より忠実に足100の形状が再現されている。

このように上記実施の形態によれば、測定台201の上面にステンレスミラー205を配置して、被測定物としての足100の実像に、ステンレスミラー205に映り込んだ虚像に基づいて生成された像を合成しているため、足100にお

ける土踏まずなど凹みのある部分の像を補うことができ、適切な足 1 0 0 の 3 次元形状を生成することが可能となる。

このとき、足 1 0 0 における土踏まずなど凹みのある部分の像（虚像）と側面（実像）とが同時に測定されているため、少ない測定手順で適切な 3 次元形状を測定することができる。

また、上記実施の形態によれば、スリット光源 1 3 から出射される光束がステンレスミラー 2 0 5 に対して垂直な面に沿って出射されるように測定ヘッド 1 0 の姿勢が規制されているため、測定時においては、スリット光源 1 3 から直接足 1 0 0 に照射される光束と、一旦ステンレスミラー 2 0 5 に反射されてから足 1 0 0 に照射される光束とが重なることになる。これにより、ステンレスミラー 2 0 5 に反射された光束が、誤った像を生成することがなくなり、精度良く測定を行うことが可能となる。

また、上記実施の形態によれば、第 1 及び第 2 ステップにおける初期設定が完了した後は、測定台 2 0 1 に対してステレオカメラ 2 1、2 2 を取り外して被測定物の測定を行うことができるため、測定装置の小型化を図ることが可能となる。

たとえば、測定装置の移動等によりガイドレール 2 0 4 の軌道が変化した場合でも、ステレオカメラ 2 1、2 2 を取り付けてテーブルデータの更新を行うことにより、精度を保つことができる。

また、上記実施の形態によれば、測定台 2 0 1 上面を鏡面とするために、光反射面が露出しているステンレスミラー 2 0 5 を用いているため、反射面上における光の屈折が生じることがなく、精度良く測定を行うことが可能となる。

なお、上記実施の形態においては、測定ヘッド 1 0 を測定者が手動で移動させる構成としたが、モータを用いて測定ヘッド 1 0 を自動的にガイドレール 2 0 4 に沿って移動させるようにしてもよい。このようにすると、測定者が測定ヘッド 1 0 に触れることなく自動的に被測定物の測定を行うことができるようになる。

更に、測定ヘッド 1 0 をモータで移動させる場合には、被測定物を配置して測定を行う間、測定者は測定ヘッド 1 0 に触れる必要がないため、図 1 2 に示すよ

うに、測定装置全体を筐体 206 で覆うことができる。このようにすると、照明光等の外乱光を遮断することができるため、精度よく測定を行うことが可能となる。

また、人の足の形状を測定するような場合には、図 13 に示すように、筐体 206 の上部に開口部 207 を設ければよい。この場合、開口部 207 をゴム等の弾性部材からなる弾性板 208 で塞ぎ、その弾性板 208 に設けたスリット 209 から足等の被測定物が挿入できるように構成することにより、開口部 207 と被測定物との隙間から照明光等の外乱光が入射することがなくなり、精度よく測定を行うことが可能となる。

また、上記実施の形態においては、測定ヘッド 10 をガイドレール 204 に沿って移動させる場合について説明したが、図 14 に示すように、測定ヘッド 10 を自由に移動させるように構成してもよい。この場合、第 1 ステップにおけるステップ S03、S04 の処理（図 6 参照）が、測定ヘッド 10 の測定位置毎に行われることになる。

また、ステンレスミラー 205 は、測定台 201 の上面と平行な位置だけでなく、例えば図 14 において破線で示すような測定台 201 の上面と垂直な位置など、任意の位置に配置してもよい。この場合、ステンレスミラー 205 の位置を変える毎に第 2 のステップを行えば、ステンレスミラー 205 の位置に拠らず、適切な測定を行うことができる。これにより、測定対象物 100 の大きさや形状に応じて、任意にステンレスミラー 205 の位置を変更することができるため、ステンレスミラー 205 を適切な位置に配置すれば、より少ない測定手順で適切な 3 次元形状を測定することができる。

また、鏡 205 としては、ステンレスミラーに限定されることはなく、光反射率の高い種々の部材を用いてもよい。

また、上記実施の形態においては、ステレオカメラ 21、22 の出力を用いてワールド座標系での測定ヘッド 10 の位置に関する情報、すなわち回転行列 R 及び並進ベクトル t を求めたが、測定ヘッド 10 の移動軌跡が特定されていればス

テレオカメラ 21、22 を用いることなく回転行列 R 及び並進ベクトル t が求められる。

また、測定ヘッド 10 としては、被測定物上の測定点の位置を測定できるものであれば、上述した実施の形態と異なるものであってもよい。例えば、スリット
5 光源 13 の代わりにスポット光源を用いてもよい。

〔B-3〕表面に光反射面が形成された光反射板と光反射板上に形成された透明ガラス板とからなる鏡を用いた場合の実施の形態の説明

上記実施の形態では、鏡として表面に光反射面を有するステンレスミラー 20
5 が用いられているが、足の 100 の裏面の形状をより広い範囲にわたって測定
10 するために、図 15 に示すような表面に光反射面が形成された光反射板 301 と
光反射板 301 上に形成された透明ガラス板 302 とからなる鏡 300 を、ステン
レスミラー 205 に代えて用いることができる。

ただし、このような鏡 300 を用いた場合には、透明ガラス板 302 内を光が
通過する際に光が屈曲するので、次のような補正が必要となる。

15 測定ヘッド 10 内のスリット光源 13 から出射された光束は、矢印 L1 で示す
ように、鏡 300 の上面から入射し、透明ガラス板 302 内を通過して鏡 300 の
光反射板 301 で反射される。この反射光は、矢印 L2 で示すように、再度、透
明ガラス板 302 内を通過して、鏡 300 の上面から出射され、被測定物 100 に
照射される。光束は、透明ガラス板 302 内を通過する際に屈曲するため、被測
20 定物 100 に照射される際の光束を表す方程式 $a_i \cdot x + b_i \cdot y + c_i \cdot z + d_i = 0$
を、光の屈曲を考慮して補正する必要がある。

つまり、第 3 ステップで用いられる光束を表す方程式 $a_i \cdot x + b_i \cdot y + c_i \cdot z + d_i = 0$ を、光の屈曲を考慮して補正する必要がある。

また、被測定物 100 から反射された光束は、同様に、鏡 300 の上面から入
25 射し、透明ガラス板 302 内を通過して鏡 300 の光反射板 301 で反射される。
この反射光は、再度、透明ガラス板 302 内を通過して、鏡 300 の上面から出射
され、CCD カメラ 12 に入射する。したがって、CCD カメラ 12 の画像面 S

上での測定点の座標（観察点での座標）（ x_s, y_s, f ）における（ x_s, y_s ）も、光の屈曲を考慮して補正する必要がある。

つまり、第3ステップで用いられる観察点での座標（ x_s, y_s, f ）における（ x_s, y_s ）を、光の屈曲を考慮して補正する必要がある。

- 5 さらに、第2ステップでは、測定台201上に設けられたステンレスミラー205の上面を表すワールド座標系での方程式 $a_m X + b_m Y + c_m Z + d_m = 0$ が求められているが、鏡300を用いた場合には鏡300内の光反射板301の上面を表すワールド座標系での方程式 $a_m X + b_m Y + c_m Z + d_m = 0$ を求める必要がある。
- 10 ここでは、鏡300内の光反射板301の厚さがごく薄いものであると仮定し、鏡300内の光反射板301の上面を表すワールド座標系での方程式 $a_m X + b_m Y + c_m Z + d_m = 0$ の代わりに、鏡300が載せられる測定台201の表面を表すワールド座標系での方程式が求められる。測定台201の表面の方程式は、次のようにして求めることができる。
- 15 つまり、測定台201を不透明な薄板で覆い、その平板上の点についてワールド座標系における座標をステレオ法により測定する。そして、得られた薄板上の点のワールド座標系における座標に基づいて、測定台201の表面を表す方程式を算出する。平面の方程式の算出にあたっては、薄板上の点として少なくとも3点あればよい。
- 20 測定台201を不透明な薄板で覆い測定する代わりに、測定台201上に少なくとも3個のマーカを設け、そのマーカの位置を計測することにより、測定台201の表面の方程式を算出するようにしてもよい。
- 25 ところで、図15に矢印L1、L2で示すように、スリット光源13から出射された光束は、透明ガラス板302を2回通過した後に被測定物100に照射されている。したがって、スリット光源13から出射された光束が鏡300で反射されて被測定物100に照射される際の光の屈曲特性は、鏡300の厚み（正確には透明ガラス板302の厚み）を v とすると、図15に矢印L1、L3で示す

ように、厚みが $2v$ の仮想透明ガラス板を介して、この仮想透明ガラス板の向こう側にある被測定物 100' に光が照射される場合の屈曲特性と等価となる。

同様に、被測定物 100 から反射された光束が、鏡 300 で反射されて CCD カメラ 12 に入射する際の光の屈曲特性は、鏡 300 の厚み（正確には透明ガラス板 302 の厚み）を v とすると、厚みが $2v$ の仮想透明ガラス板を介して、この仮想透明ガラス板の向こう側にある CCD カメラに光が照射される場合の屈曲特性と等価となる。

〔B-4〕 屈曲の影響を考慮した補正方法の説明

以下、これらの屈曲の影響を考慮した補正方法について説明する。

10 説明を簡単にするために、図 16 に示すように、スリット光源 13 および CCD カメラの画像面 S が、厚さ w の透明ガラス板 400 の手前側に位置しており、被測定物 100 が透明ガラス板 400 の向こう側に位置している場合における補正方法について説明する。そして、図 15 のように鏡 300 が測定台 201 上に載置されている場合の補正方法との違いについて説明を追加することにする。

15 〔B-4-1〕 被測定物 100 に照射される際の光束を表す方程式 $a_L x + b_L y + c_L z + d_L = 0$ の補正方法の説明

図 16 および図 17 に基づいて、まず、被測定物 100 に照射される際の光束を表す方程式 $a_L x + b_L y + c_L z + d_L = 0$ の補正方法について説明する。

20 (1) まず、測定ヘッド 10 の構成によって求められている光束を表す平面のカメラ座標系で表した方程式 $a_L x + b_L y + c_L z + d_L = 0$ を、ワールド座標系の方程式を表す $a_L' X + b_L' Y + c_L' Z + d_L' = 0$ に変換する。

(2) 次に、ワールド座標系での光束を表す平面の方程式 ($a_L' X + b_L' Y + c_L' Z + d_L' = 0$) と、ワールド座標系での透明ガラス板 400 を表す平面の方程式 ($a_M' X + b_M' Y + c_M' Z + d_M' = 0$) とに基づいて、光束
25 を表す平面と透明ガラス板 400 のなす角度（入射角） θ_1 を求め、スネルの法則から図 17 の θ_2 を求める。

図 15 のように測定台 201 上に鏡 300 が載置されている場合には、透明ガ

ラス板 4 0 0 を表す平面の方程式 ($a_m' X + b_m' Y + c_m' Z + d_m' = 0$) の代わりに、鏡 3 0 0 が載せられる測定台 2 0 1 の表面の方程式が用いられる。

5 なお、空気の屈折率を n_1 、透明ガラス板 4 0 0 の屈折率を n_2 とすると、 θ_1 と θ_2 との関係は、スネルの法則によって次式 (4) で表される。

$$n_1 \times \sin \theta_1 = n_2 \times \sin \theta_2 \quad \dots \quad (4)$$

10 (3) 次に、ワールド座標系での屈曲後の光束の平面の方程式 ($a_{L''} X + b_{L''} Y + c_{L''} Z + d_{L''} = 0$) を求める。

透明ガラス板 4 0 0 から出力される光束の平面と、透明ガラス板 4 0 0 に入射される元の光束の平面との距離 U は、図 1 7 から、次式 (5) で表される。

$$U = w(\tan \theta_1 - \tan \theta_2) \times \cos \theta_1 \quad \dots \quad (5)$$

15

図 1 5 に示すように測定台 2 0 1 上に鏡 3 0 0 が載せられている場合には、鏡 3 0 0 の透明ガラス板 3 0 2 の厚さを v とすると、上記数式 5 における w は、 $2v$ となる。

20 ワールド座標系での屈曲後の光束の平面は、透明ガラス板 4 0 0 に入射される元の光束の平面 ($a_{L'} X + b_{L'} Y + c_{L'} Z + d_{L'} = 0$) に平行でかつ、距離が U だけ離れた平面となる。したがって、ワールド座標系での屈曲後の光束の平面の方程式 ($a_{L''} X + b_{L''} Y + c_{L''} Z + d_{L''} = 0$) は、次式 (6) によって求められる。

$$\begin{aligned} & a_{L''} X + b_{L''} Y + c_{L''} Z + d_{L''} \\ & = a_{L'} X + b_{L'} Y + c_{L'} Z + d_{L'} + (\sqrt{a_{L'}^2 + b_{L'}^2 + c_{L'}^2} \times U) \end{aligned} \quad \dots \quad (6)$$

25

(4) 第1ステップで求められたカメラ座標の回転 R と並進 t とを用いて、ワールド座標系での屈曲後の光束の平面の方程式 $a_{L'''}X + b_{L'''}Y + c_{L'''}Z + d_{L'''} = 0$ を、カメラ座標系での平面の方程式 $(a_{L'''}x + b_{L'''}y + c_{L'''}z + d_{L'''} = 0)$ に変換する。

- 5 このようにして求められたカメラ座標系での屈曲後の光束の平面の方程式 $(a_{L'''}x + b_{L'''}y + c_{L'''}z + d_{L'''} = 0)$ を、上記第3ステップで用いられる光束を表す平面の方程式として用いる。

[B-4-2] CCDカメラ12の画像面 S 上での測定点の座標（観察点での座標） (x_s, y_s, f) における (x_s, y_s) の補正方法の説明

- 10 CCDカメラ12の画像面 S 上での測定点の座標（観察点での座標） (x_s, y_s, f) における (x_s, y_s) の補正方法について説明する。この方法には2つの方法がある。

第1方法は、被測定物100から反射してくる光（以下、反射光という）が、CCDカメラ12の画像面 S に対して全て垂直に入射すると仮定して、画像面 S 上での測定点の座標 (x_s, y_s, f) における (x_s, y_s) を補正する方法である。

第2方法は、被測定物100から反射してくる光（以下、反射光という）が、CCDカメラ12の焦点位置（カメラ座標原点）に向かってCCDカメラ12に入射すると仮定して、画像面 S 上での測定点の座標 (x_s, y_s, f) における (x_s, y_s) を補正する方法である。

[B-4-2-1] 第1方法の説明

まず、図16および図19に基づいて、第1方法について説明する。

第1方法では、被測定物100から反射してくる光（以下、反射光という）が、CCDカメラ12の画像面 S に対して全て垂直に入射すると仮定している。

- 25 (1) まず、カメラ座標系でのCCDカメラ12の光軸（ z 軸）の直線方程式を、第1ステップで求められたカメラ座標の回転 R と並進 t とを用いて、ワールド座標系に変換する。

(2) ワールド座標系の光軸 (z 軸) の直線方程式と、ワールド座標系の透明ガラス板 400 の方程式 ($a_m' X + b_m' Y + c_m' Z + d_m' = 0$) とに基づいて、透明ガラス板 400 と CCD カメラ 12 の光軸 (z 軸) のなす角度 (入射角) θ_1 を求め、スネルの法則から図 19 の θ_2 を求める。

- 5 図 15 のように測定台 201 上に鏡 300 が載置されている場合には、透明ガラス板 400 を表す平面の方程式 ($a_m' X + b_m' Y + c_m' Z + d_m' = 0$) の代わりに、鏡 300 が載せられる測定台 201 の表面の方程式が用いられる。

- 10 (3) 透明ガラス板 400 から出力される光束の平面と、透明ガラス板 400 に入射される元の光束の平面との距離 $U (= w \times (\tan \theta_1 - \tan \theta_2) \times \cos \theta_1)$ を、上記数式 5 を用いて求める。

図 15 に示すように測定台 201 上に鏡 300 が載せられている場合には、鏡 300 の透明ガラス板 302 の厚さを v とすると、上記数式 5 における w は、 $2v$ となる。

- 15 (4) 次に、図 20 に示すように、ワールド座標系での CCD カメラ 12 の光軸 (z 軸) の直線方程式と、ワールド座標系での透明ガラス板 400 の平面の方程式とに基づいて、光軸 (z 軸) を含みかつ透明ガラス板 400 に垂直な平面 Q を表す方程式を求める。

- 20 (5) 第 1 ステップで求められたカメラ座標の回転 R と並進 t とを用いて、ワールド座標系での光軸 (z 軸) を含みかつ透明ガラス板 400 に垂直な平面 Q を表す方程式を、カメラ座標系での方程式に変換する。

- (6) 次に、図 21 に示すように、カメラ座標系での光軸を含みかつ透明ガラス板 400 に垂直な平面 Q を表す方程式と、カメラ座標系での画像面 S を表す方程式とに基づいて、光軸を含みかつ透明ガラス板 400 に垂直な平面 Q と、画像面 S との交線の方程式を求める。
- 25

(7) 光軸を含みかつ透明ガラス板 400 に垂直な平面 Q と、画像面 S との交線の方程式に基づいて、平面 Q と画像面 S との交線上において、画像面 S 上の z 軸

と交差する位置Pから、距離Uだけずれた位置P'の座標(x_1, y_1)を求め
る。求めた座標値(x_1, y_1)が補正值となる。

(8)そして、上記第3ステップで用いられる画像面上S上での測定点に対応する
観察点の座標(x_s, y_s, f)を、補正值(x_1, y_1)を用いて補正する。

- 5 画像面上S上での測定点に対応する観察点の座標(x_s, y_s, f)に対する補
正後の座標を($x_{s'}, y_{s'}, f$)とすると、 $x_{s'}$ および $y_{s'}$ は次式

(7)で表される。図22に、画像面上Sで観察された画像を補正した場合の例
を示す。図22において破線は画像面上Sで観察された画像を示し、実線は補正
後の画像を示している。

10

$$\begin{aligned} x_{s'} &= x_s + x_l \\ y_{s'} &= y_s + y_l \end{aligned} \quad \dots \quad (7)$$

[B-4-2-2] 第2方法の説明

図16および図23に基づいて、第2方法について説明する。

- 15 第2方法では、被測定物100から反射してくる光(以下、反射光という)が、
CCDカメラ12の焦点位置(カメラ座標原点)に向かってCCDカメラ12に
入射すると仮定している。

(1)画像面S上での観測点の座標を抽出する。そして、カメラ座標原点から上
記観測点を通る直線Lの方程式をカメラ座標系において求める。

- 20 (2)カメラ座標系で求めた上記直線Lの方程式を、第1ステップで求められた
カメラ座標の回転Rと並進tとを用いて、ワールド座標系に変換する。

(3)ワールド座標系での直線Lの方程式と、ワールド座標系の透明ガラス板4
00の方程式($a_m' X + b_m' Y + c_m' Z + d_m' = 0$)とに基づいて、透
明ガラス板400とCCDカメラ12の光軸(z軸)のなす角度(入射角) θ_1

- 25 を求め、スネルの法則から図23の θ_2 を求める。

図15のように測定台201上に鏡300が載置されている場合には、透明ガ

ラス板 400 を表す平面の方程式 ($a_m' X + b_m' Y + c_m' Z + d_m' = 0$) の代わりに、鏡 300 が載せられる測定台 201 の表面の方程式が用いられる。

- (4) 次に、透明ガラス板 400 から出力される反射光の平面と、透明ガラス板 400 に入射される元の反射光の平面との距離 $U (= w \times (\tan \theta_1 - \tan \theta_2) \times \cos \theta_1)$ を、上記数式 5 を用いて求める。

図 15 に示すように測定台 201 上に鏡 300 が載せられている場合には、鏡 300 の透明ガラス板 302 の厚さを v とすると、上記数式 5 における w は、 $2v$ となる。

- 10 (5) 次に、図 24 に示すように、ワールド座標系での直線 L の方程式と、ワールド座標系での透明ガラス板 400 の平面の方程式とに基づいて、直線 L を含みかつ透明ガラス板 400 に垂直な平面 Q の方程式を求める。

- 図 15 のように測定台 201 上に鏡 300 が載置されている場合には、透明ガラス板 400 を表す平面の方程式 ($a_m' X + b_m' Y + c_m' Z + d_m' = 0$) の代わりに、鏡 300 が載せられる測定台 201 の表面の方程式が用いられる。

(6) 第 1 ステップで求められたカメラ座標の回転 R と並進 t とを用いて、ワールド座標系での直線 L を含みかつ透明ガラス板 400 に垂直な平面 Q を表す方程式を、カメラ座標系での方程式に変換する。

- 20 (7) 次に、図 25 に示すように、カメラ座標系での直線 L を含みかつ透明ガラス板 400 に垂直な平面 Q を表す方程式と、カメラ座標系での画像面 S を表す方程式とに基づいて、直線 L を含みかつ透明ガラス板 400 に垂直な平面 Q と、画像面 S との交線の方程式を求める。

- (8) 直線 L を含みかつ透明ガラス板 400 に垂直な平面 Q を表す方程式とカメラ座標系での画像面 S を表す方程式とに基づいて、平面 Q と画像面 S との交線の方程式を求める。

(9) 画像面 S 上の直線 L と交差する位置 P から、距離 U だけずれた位置 P' の

座標 $(x s', y s', f)$ を求める。求めた座標値 $(x s', y s', f)$ が、
観察点の座標 $(x s, y s, f)$ の補正後の座標となる。

請 求 の 範 囲

1. ガイドレールに沿って移動せしめられる測定ヘッド、
- 5 ガイドレール上の所定位置を基準として、基準位置からガイドレール上での測定ヘッドの位置を検出する第1位置検出手段、
 ガイドレール上の測定ヘッドのワールド座標系での位置を検出する第2位置検出手段、
 ガイドレール上の所定位置を基準としたガイドレール上の測定ヘッドの各位置
10 と、対応するワールド座標系での位置とを、関連付けて記憶装置に記憶する手段、
 ガイドレール上の各測定位置において、第1位置検出手段によって測定ヘッドの位置を検出するとともに、測定ヘッドを用いて、測定ヘッド中心の座標系における被測定物上の測定点の座標を求める測定手段、ならびに
 ガイドレール上の各測定位置において求められた測定ヘッド中心の座標系にお
15 ける被測定物上の測定点の座標を、記憶装置に記憶されているガイドレール上の各測定位置に対応するワールド座標系での位置に基づいて、ワールド座標系の座標に変換する手段、
 を備えていることを特徴とする形状測定装置。
2. 測定ヘッドは、
20 被測定物に対して光束を照射する光照射手段、および
 光照射手段からの光束が照射される被測定物上の測定点を撮像する撮像手段、
 を含んでいることを特徴とする請求項1に記載の形状測定装置。
3. 測定ヘッドは、ガイドレールに沿って移動するための駆動手段を備えていることを特徴とする請求項1および2のいずれかに記載の形状測定装置。
- 25 4. 第2位置検出手段は、
 所定の位置から測定ヘッドを撮像する測定ヘッド撮像手段、および
 測定ヘッド撮像手段の撮像画像に基づいて、ワールド座標系での測定ヘッドの

位置を検出する手段、

を備えていることを特徴とする請求項 1、2 および 3 のいずれかに記載の形状測定装置。

5 5. 測定ヘッド撮像手段は、形状測定装置本体に対して着脱可能に構成されていることを特徴とする請求項 4 に記載の形状測定装置。

6. ガイドレールは、被測定物との距離が略一定となる形状をなしていることを特徴とする請求項 1、2、3、4 および 5 のいずれかに記載の形状測定装置。

10 7. 被測定物が足であり、ガイドレールが被測定物である足の踵からつま先に至る方向に長軸を有する長円形状をなしていることを特徴とする請求項 6 に記載の形状測定装置。

8. ガイドレールが、被測定物である足のつま先から踵に向かって先細りする形状をなしていることを特徴とする請求項 7 に記載の形状測定装置。

15 9. 測定台上に載置された被測定物の形状を測定する測定ヘッド、測定ヘッドの位置を検出する位置検出手段、ならびに測定ヘッドと位置検出手段との出力に基づいて被測定物の 3 次元形状を求める演算手段を備えた形状測定装置であって、被測定物を映す鏡を測定台上に配置したことを特徴とする形状測定装置。

10. 位置検出手段は、2 台のカメラを用いてステレオ法により測定ヘッドの位置を検出するものである請求項 9 に記載の形状測定装置。

20 11. 測定ヘッドは、被測定物に対して光束を照射する光照射手段、および光照射手段からの光束が照射される被測定物上の測定点を撮像することにより、被測定物の実像と鏡に映った被測定物の虚像とを撮像する撮像手段、

を含んでいることを特徴とする請求項 9 および 10 のいずれかに記載の形状測定装置。

25 12. 鏡は表面に光反射面が形成されていることを特徴とする請求項 9、10 および 11 のいずれかに記載の形状測定装置。

13. 演算手段は、

撮像手段の撮像画面上での測定点の座標と、光照射手段から出射された光束を表す平面を表す方程式とに基づいて、測定ヘッド中心の座標系での測定点の座標を求める第1手段、

- 第1手段によって求められた各測定点の座標を、位置検出手段による検出結果
- 5 に基づいて、ワールド座標系の座標に変換することにより、被測定物の実像に対する3次元形状と、鏡に映った被測定物の虚像に対する3次元形状とを求める第2手段、

鏡の光反射面を表すワールド座標系での方程式を求める第3手段、

鏡の光反射面を表す方程式に基づいて、虚像に対する3次元形状の光反射面に

- 10 対して対称な3次元形状を求める第4手段、ならびに

虚像に対する3次元形状の光反射面に対して対称な3次元形状と、被測定物の実像に対する3次元形状とを合成することにより被測定物の3次元形状を求める第5手段、

を備えていることを特徴とする請求項12に記載の形状測定装置。

- 15 14. 鏡の光反射面を表す方程式を求める手段は、

2台のカメラを用いてステレオ法により光反射面上の3点以上の点の座標を測定する手段、および

得られた光反射面上の3点以上の点の座標に基づいて光反射面を表す方程式を求める手段、

- 20 を備えていることを特徴とする請求項13に記載の形状測定装置。

15. 鏡の光反射面を表す方程式を求める手段は、

光反射面上に不透明な薄板を載せた状態で、測定ヘッドを用いて薄板を撮像し、薄板の平面を特定するための3点以上の点の測定ヘッド中心の座標系での座標を抽出する手段、

- 25 得られた測定ヘッド中心の座標系での3点以上の点の座標を、位置検出手段による検出結果に基づいて、ワールド座標系での座標に変換する手段、および

得られたワールド座標系での3点以上の点の座標に基づいて、ワールド座標系

での薄板の平面を表す方程式を求める手段、

を備えていることを特徴とする請求項 13 に記載の形状測定装置。

16. 測定ヘッドの光照射手段から照射される光束が、鏡の光反射面に対して垂直に出射されるように、測定ヘッドの姿勢を規制するガイド手段を備えていることを特徴とする請求項 13、14 および 15 のいずれかに記載の形状測定装置。

17. ガイド手段は、測定ヘッドの移動経路を規制するものであることを特徴とする請求項 13、14、15 および 16 のいずれかに記載の形状測定装置。

18. 測定ヘッドをガイド手段に沿って移動させるための駆動手段を備えていることを特徴とする請求項 17 に記載の形状測定装置。

19. 測定ヘッドの移動経路全体を覆う筐体を備えていることを特徴とする請求項 18 に記載の形状測定装置。

20. 筐体が被測定物を挿脱するための開口部を備える請求項 19 に記載の形状測定装置。

21. 筐体の開口部に弾性部材からなる蓋部を設け、蓋部が被測定物を挿脱するための切込部を備えていることを特徴とする請求項 20 に記載の形状測定装置。

22. 鏡は、表面に光反射面が形成された光反射板と、光反射板上に形成された透明板とからなることを特徴とする請求項 9、10 および 11 のいずれかに記載の形状測定装置。

23. 演算手段は、

- 20 被測定物の実像上の測定点に対しては、撮像手段の撮像画面上での測定点の座標と、光照射手段から出射された光束を表す平面を表す方程式とに基づいて、測定ヘッド中心の座標系での測定点の座標を求める第 1 手段、

- 25 鏡に映った被測定物の虚像上の測定点に対しては、撮像手段の撮像画面上での測定点の座標値を鏡の透明板の屈折量を考慮して補正した後の座標値と、光照射手段から出射された光束を表す平面の方程式を鏡の透明板の屈折量を考慮して補正した後の方程式とに基づいて、測定ヘッド中心の座標系での測定点の座標を求める第 2 手段、

第1手段および第2手段によって求められた各測定点の座標を、位置検出手段による検出結果に基づいて、ワールド座標系の座標に変換することにより、被測定物の実像に対する3次元形状と、鏡に映った被測定物の虚像に対する3次元形状とを求める第3手段、

5 鏡の光反射面を表すワールド座標系での方程式を求める第4手段、

鏡の光反射面を表す方程式に基づいて、虚像に対する3次元形状の光反射面に対して対称な3次元形状を求める第5手段、ならびに

虚像に対する3次元形状の光反射面に対して対称な3次元形状と、被測定物の実像に対する3次元形状とを合成することにより被測定物の3次元形状を求める

10 第6手段、

を備えていることを特徴とする請求項22に記載の形状測定装置。

24. 鏡の光反射面を表す方程式を求める手段は、

2台のカメラを用いてステレオ法により、鏡が載置された測定台上の3点以上の点の座標を測定する手段、および

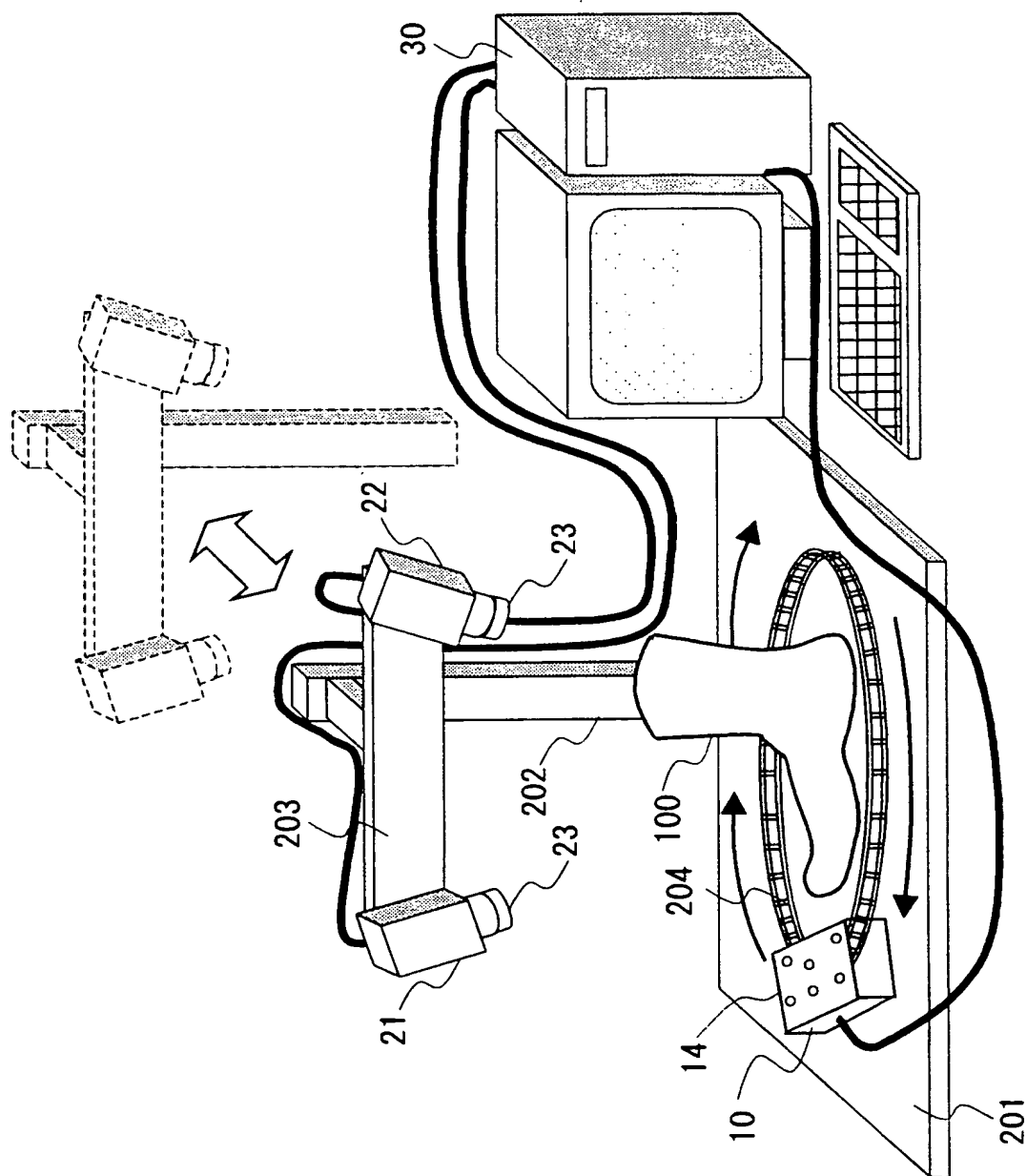
15 得られた測定台上の3点以上の点の座標に基づいて光反射面を表す方程式を求める手段、

を備えていることを特徴とする請求項23に記載の形状測定装置。

25. 測定ヘッドの光照射手段から照射される光束が、鏡の光反射面に対して垂直に出射されるように、測定ヘッドの姿勢を規制するガイド手段を備えている

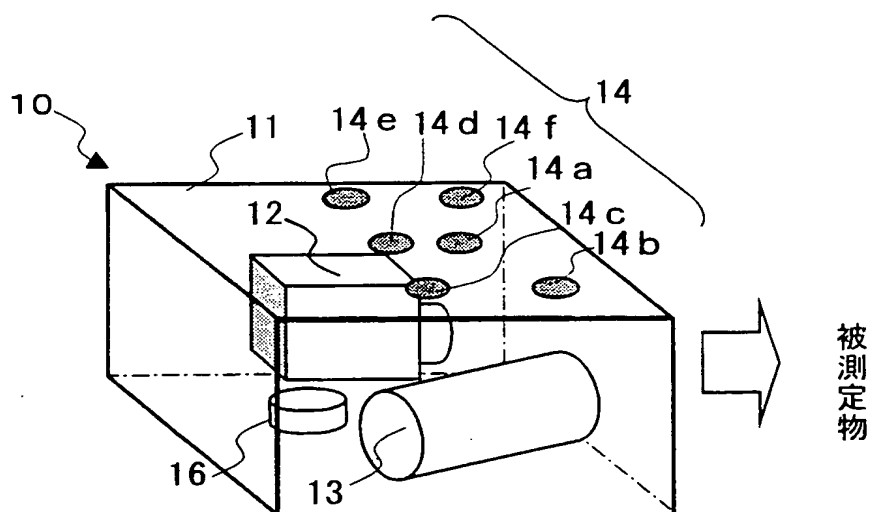
20 ことを特徴とする請求項22、23および24のいずれかに記載の形状測定装置。

第1図

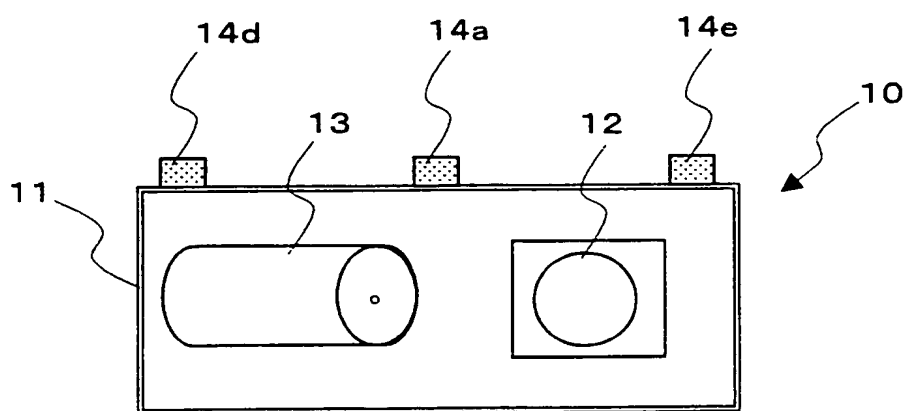




第2図



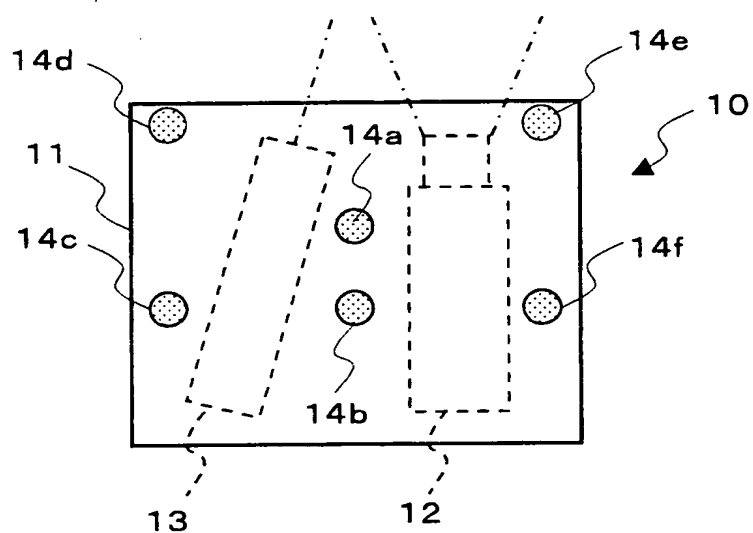
第3図



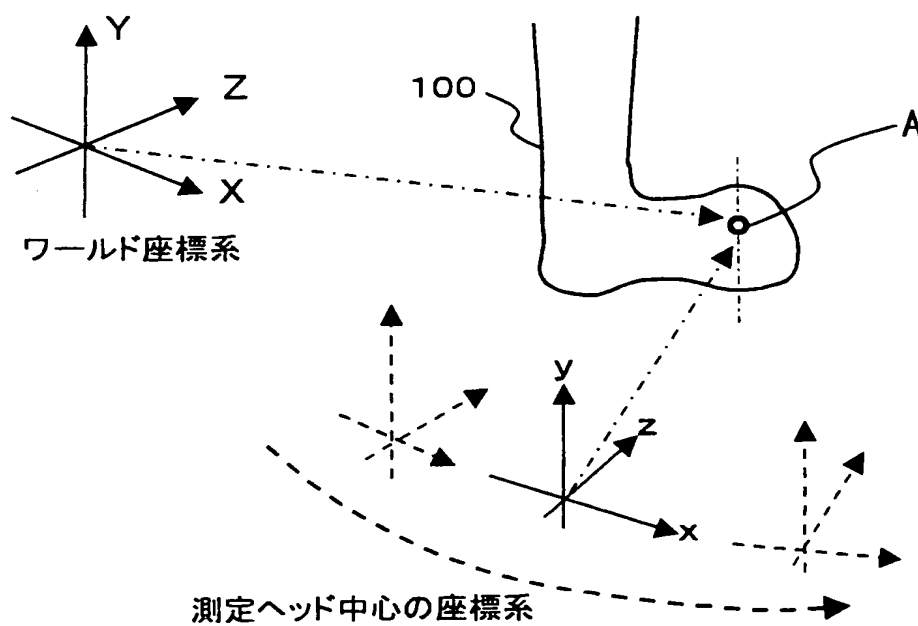


3/19

第4図



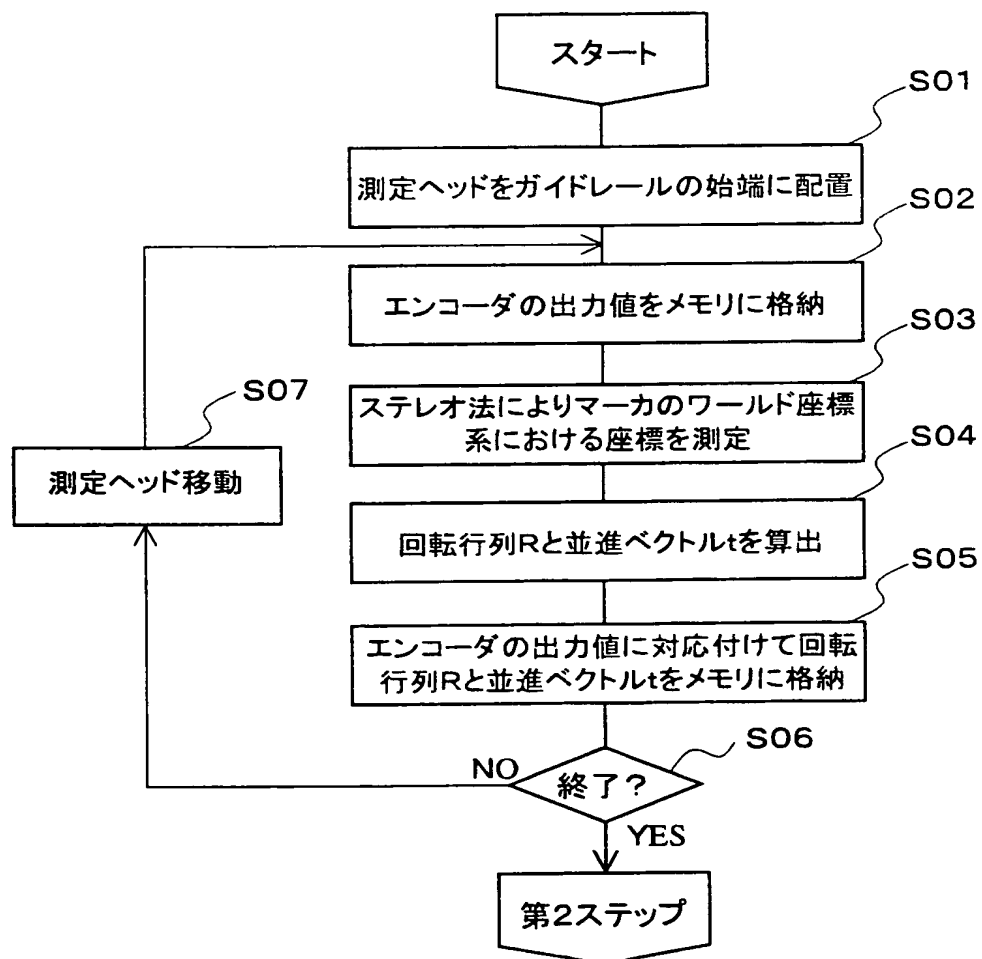
第5図





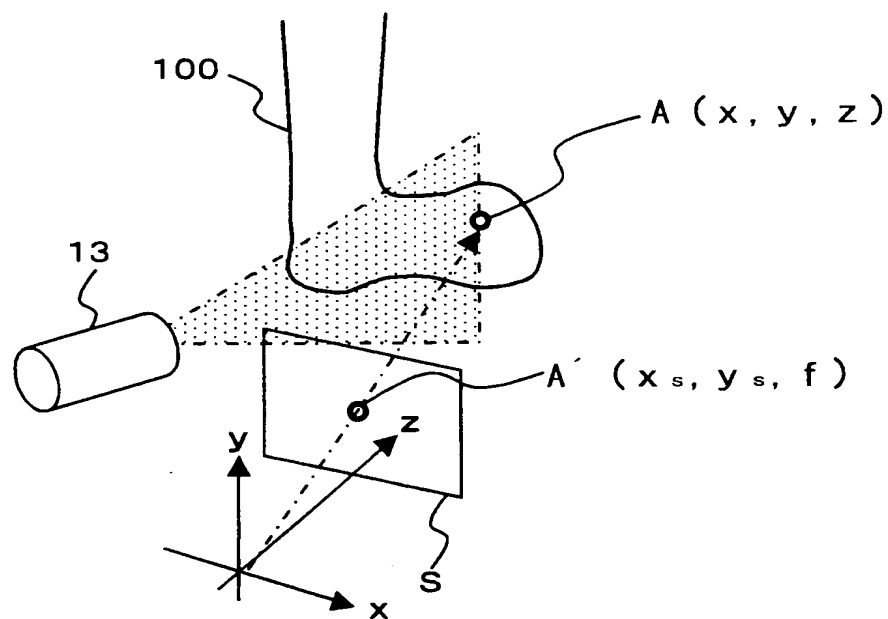
4/19

第6図





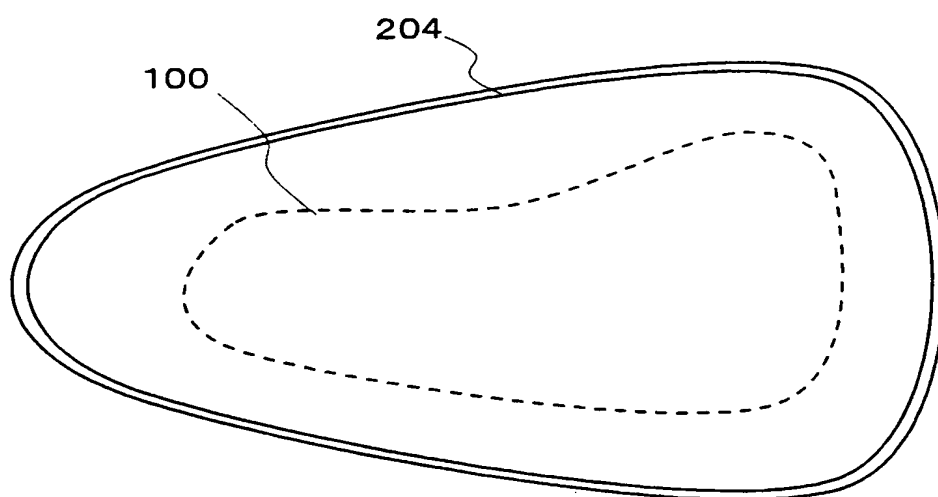
第7図





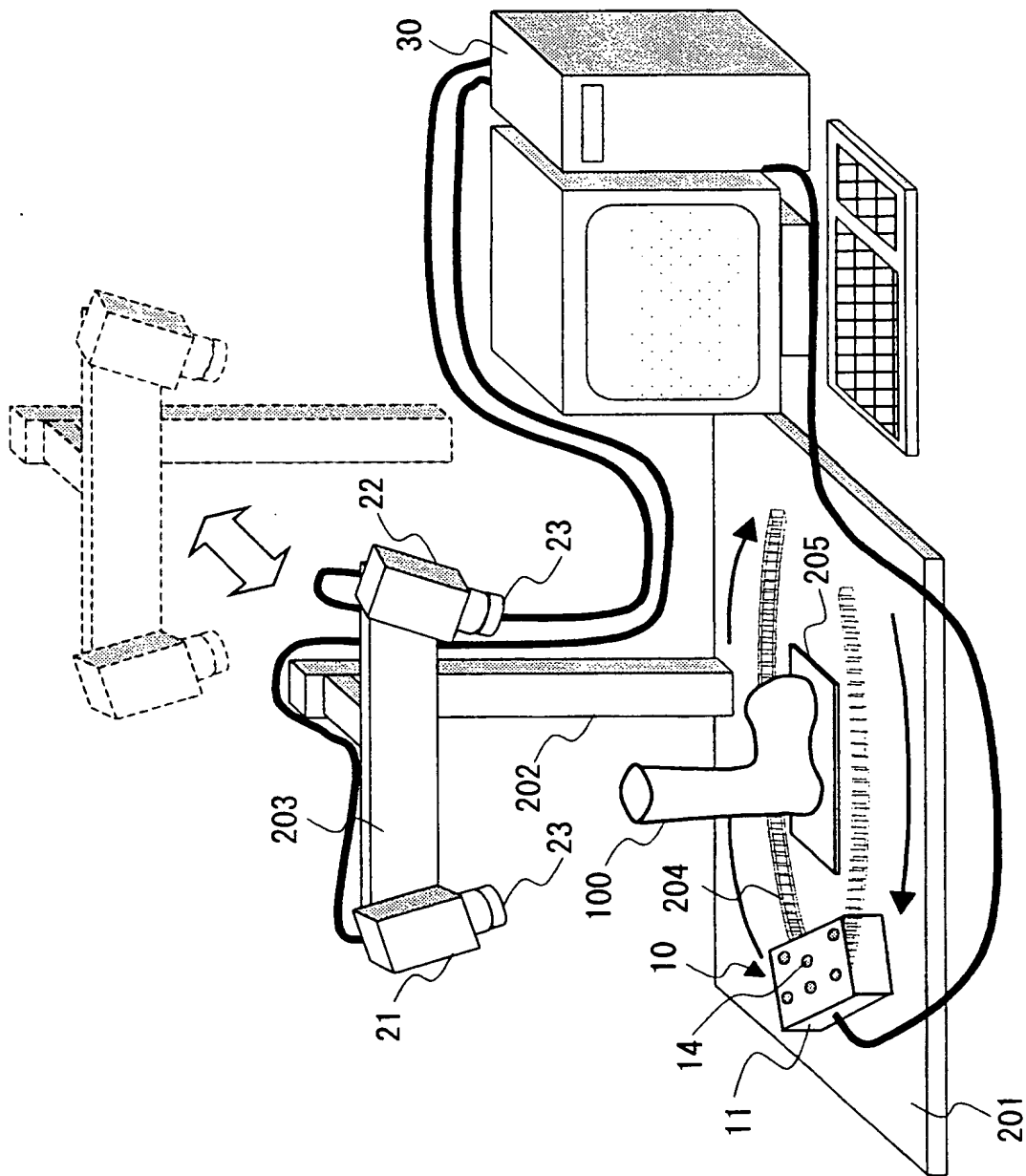
6/19

第8図





第9図





1

2

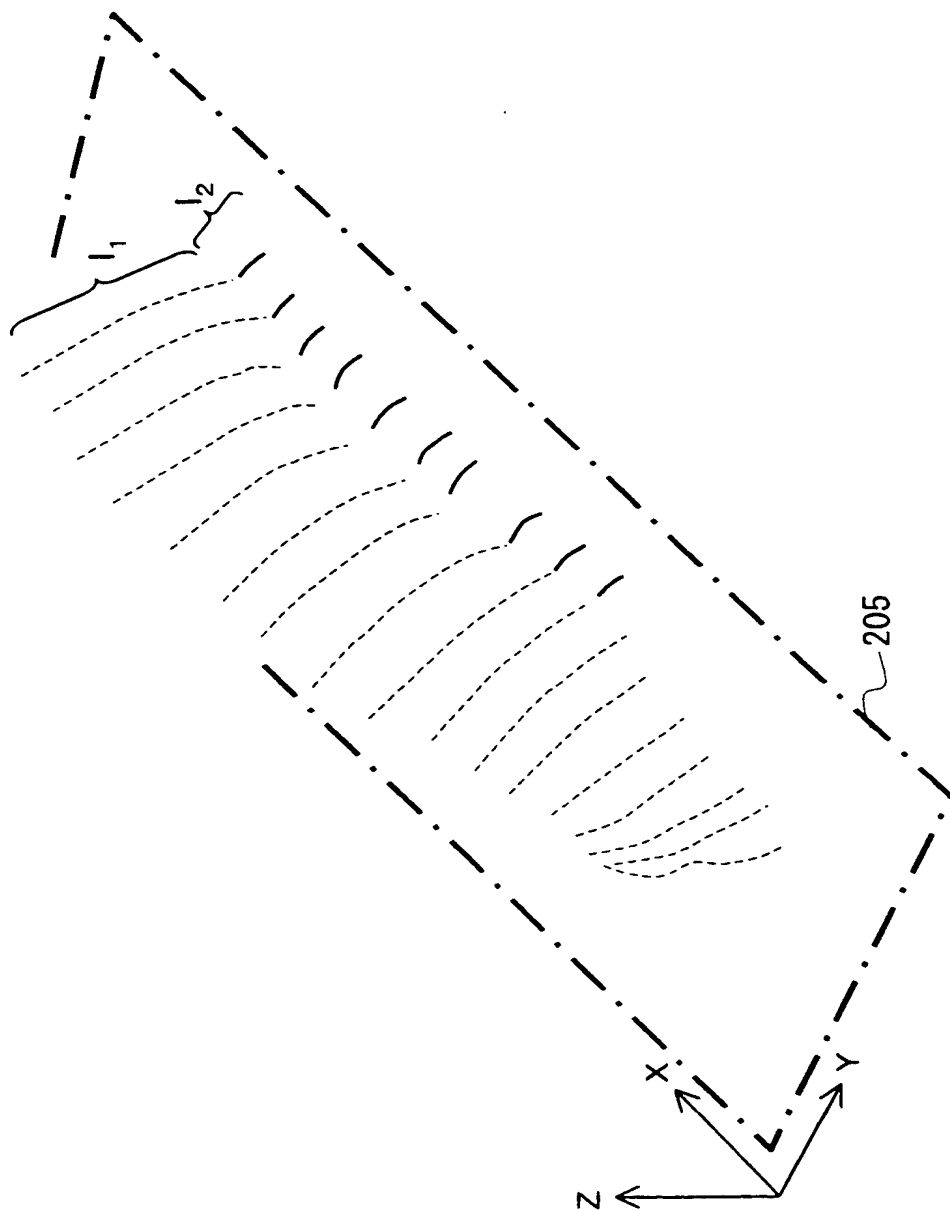
3

4

5

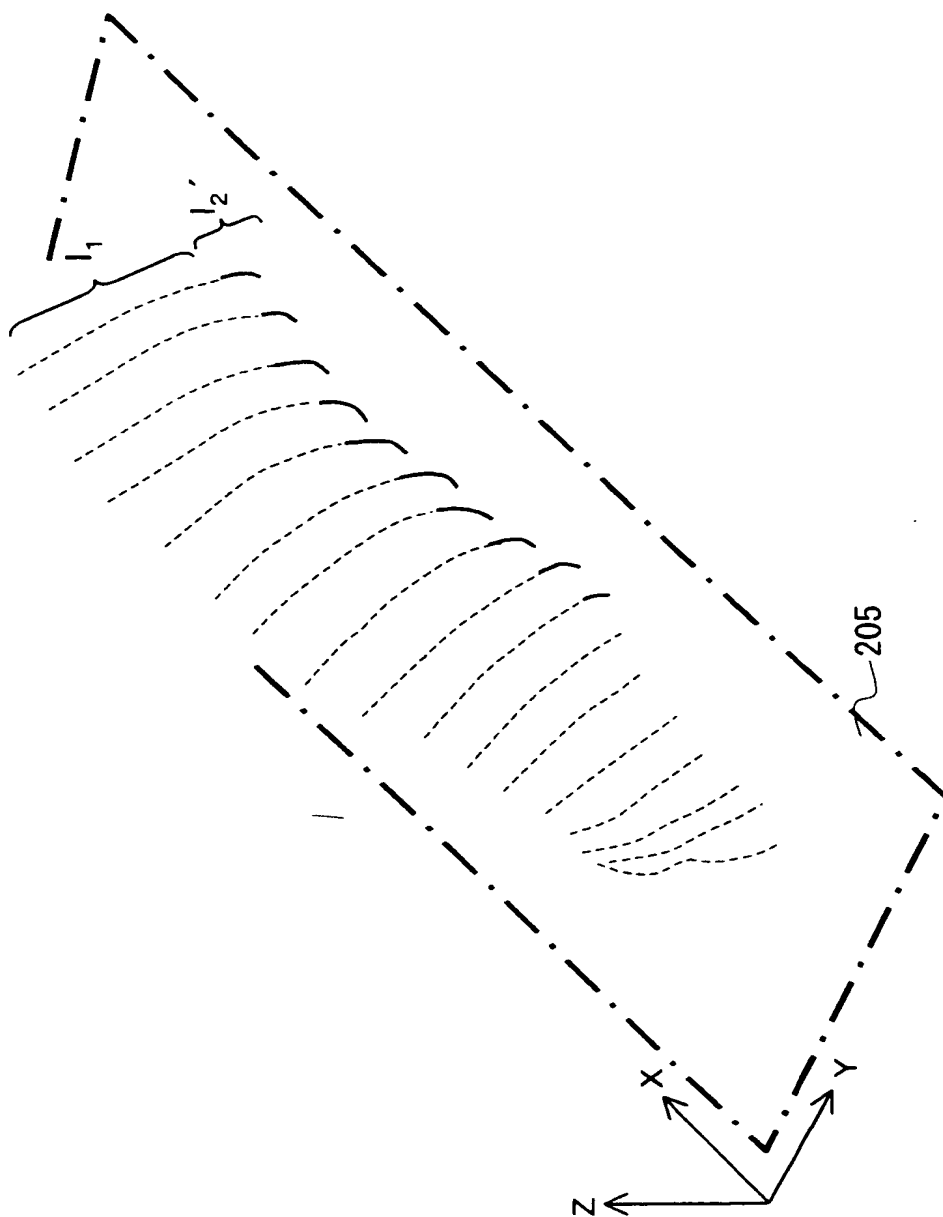
6

第10図



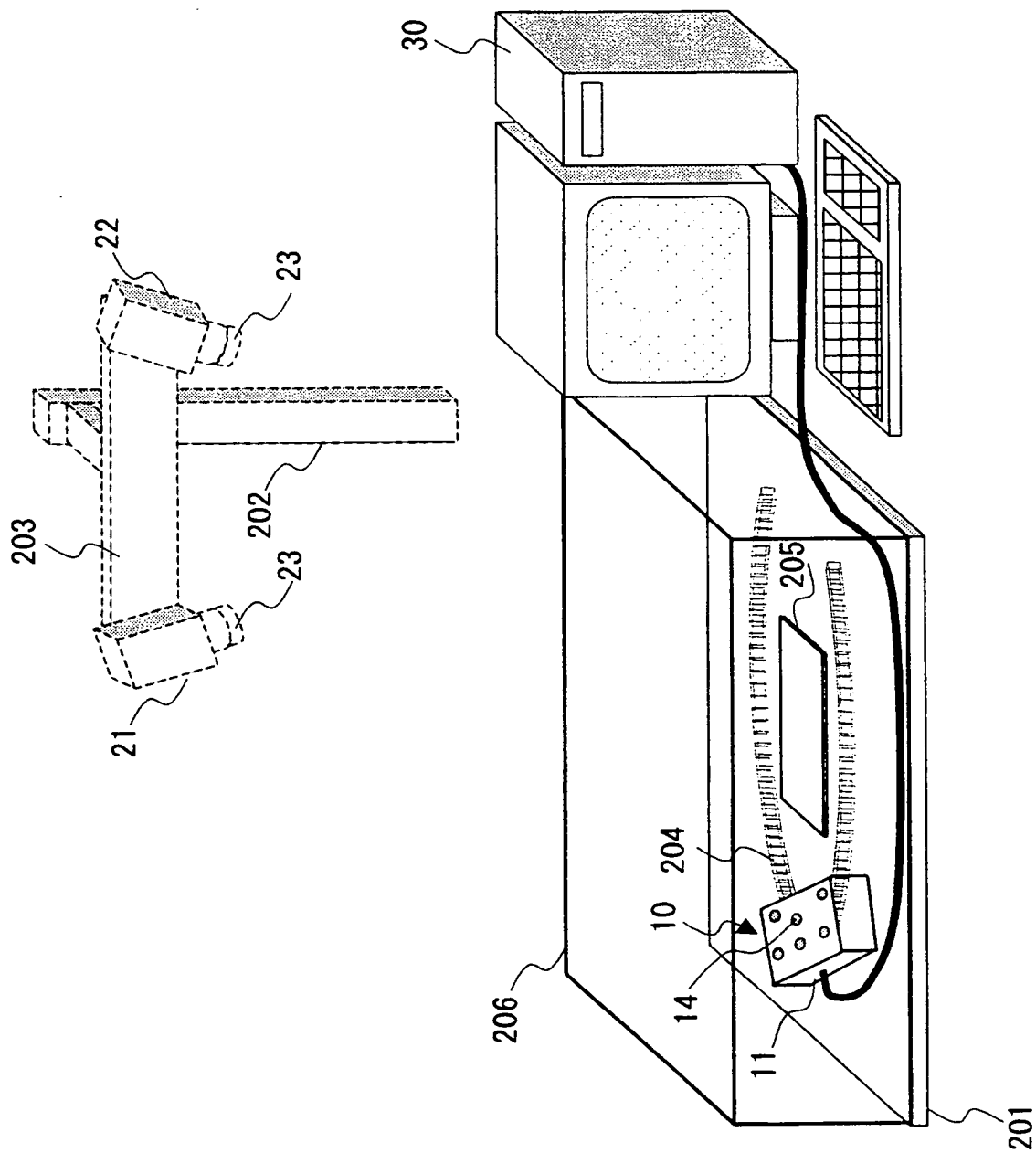


第11図



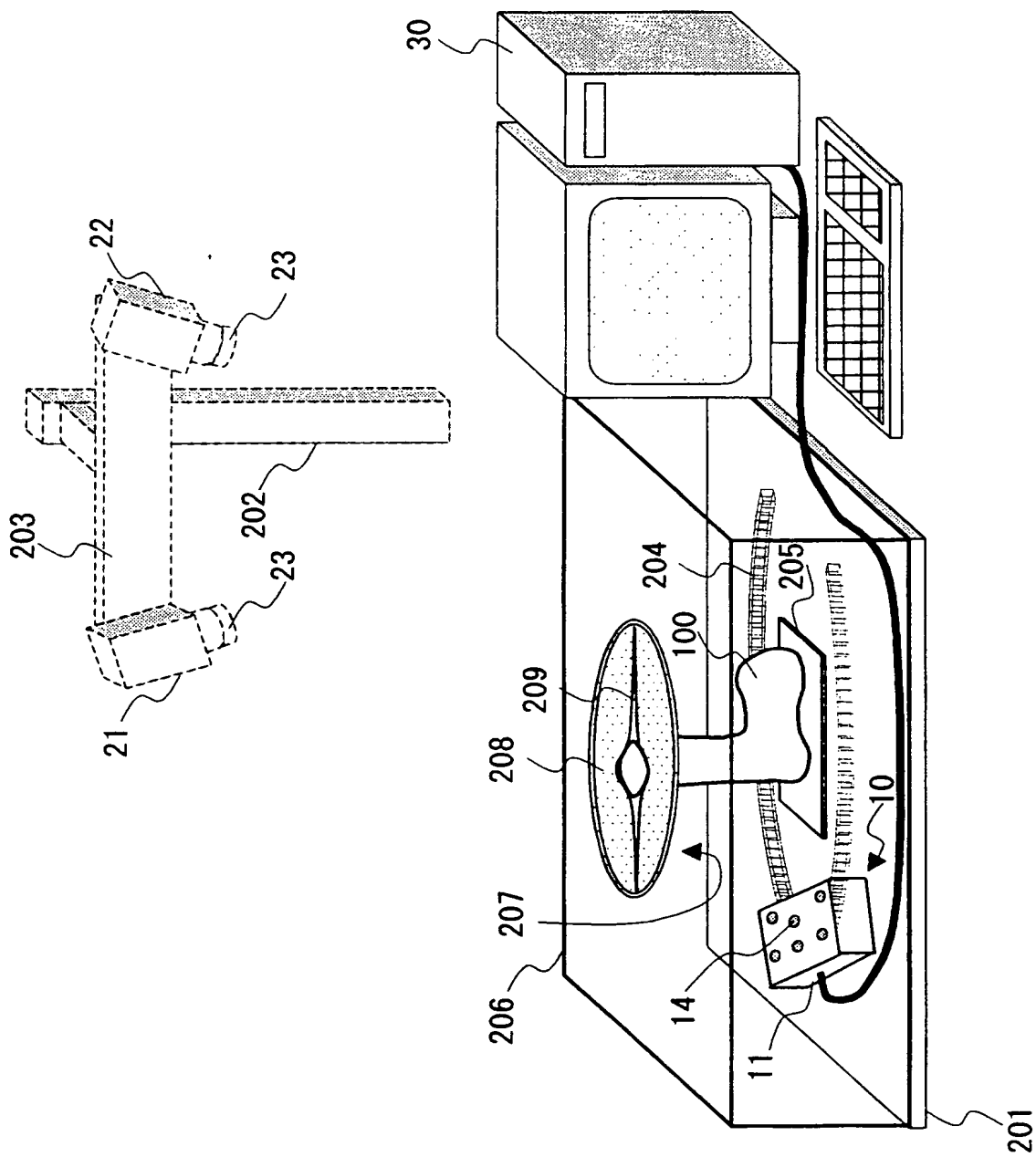


第12図





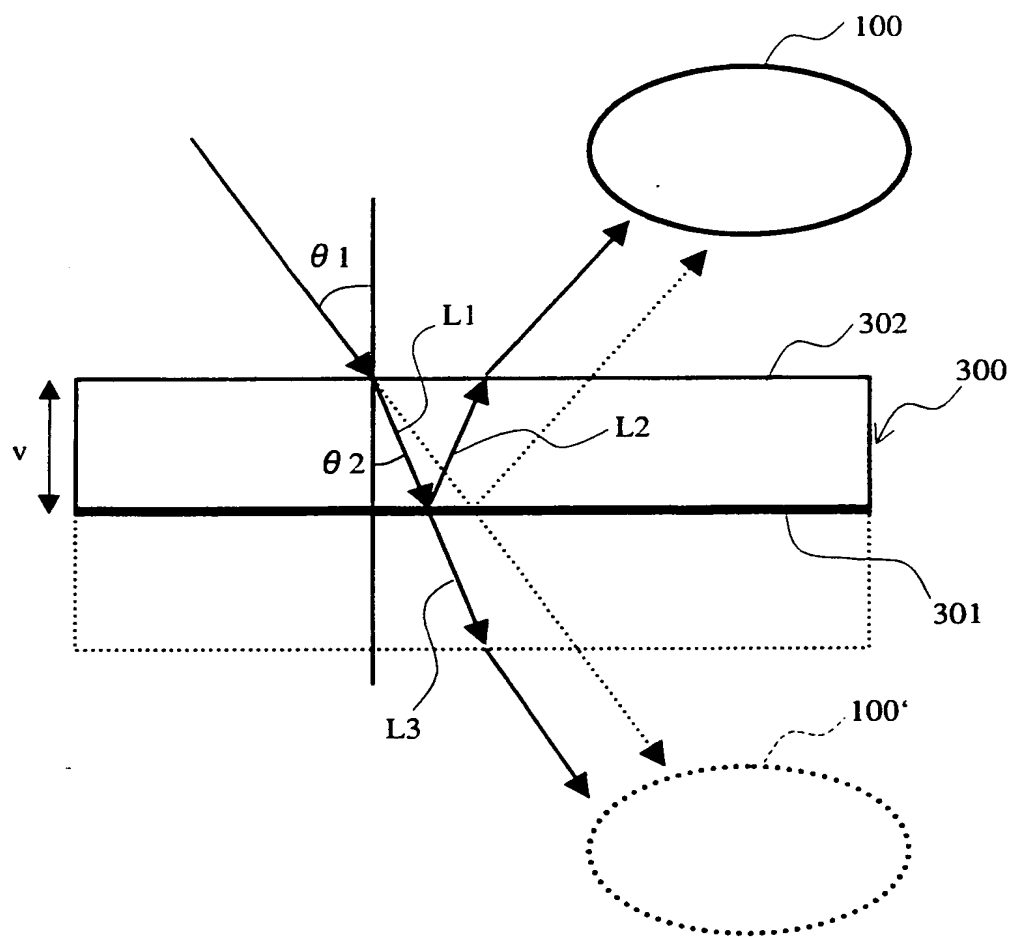
第13図







第15図





.

.

.

.

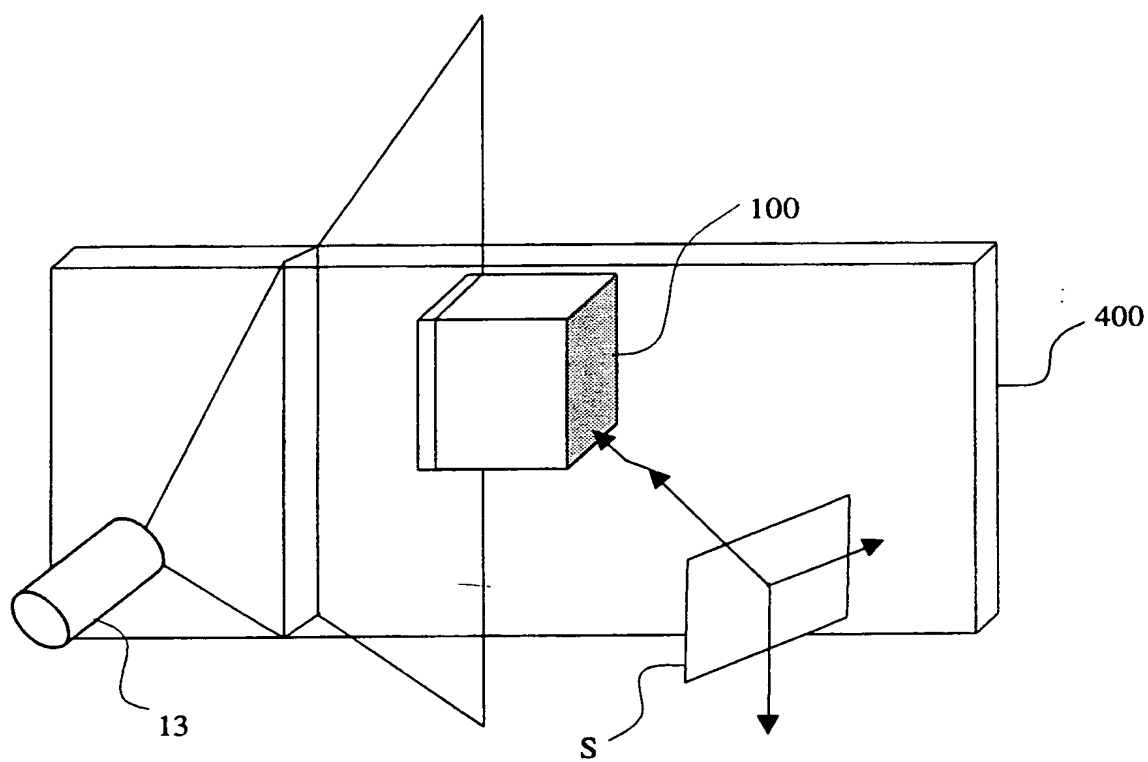
.

.

.

14/19

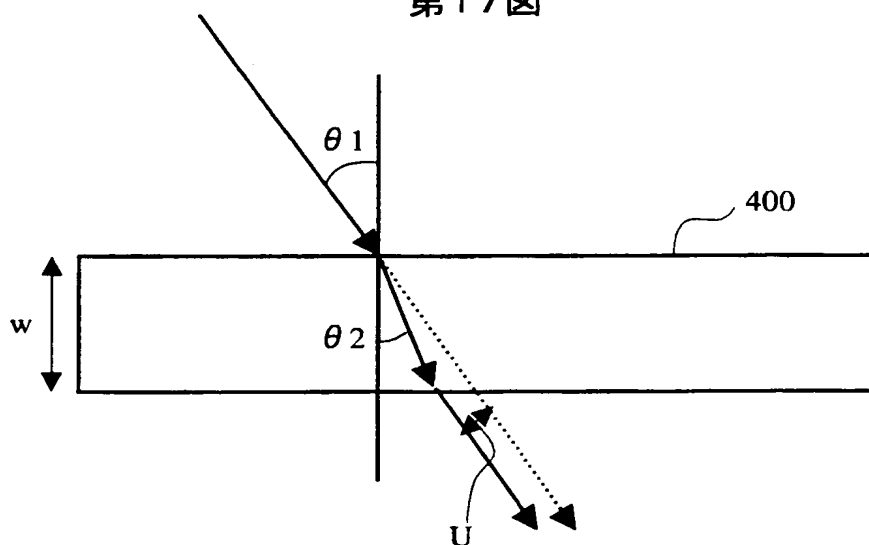
第16図



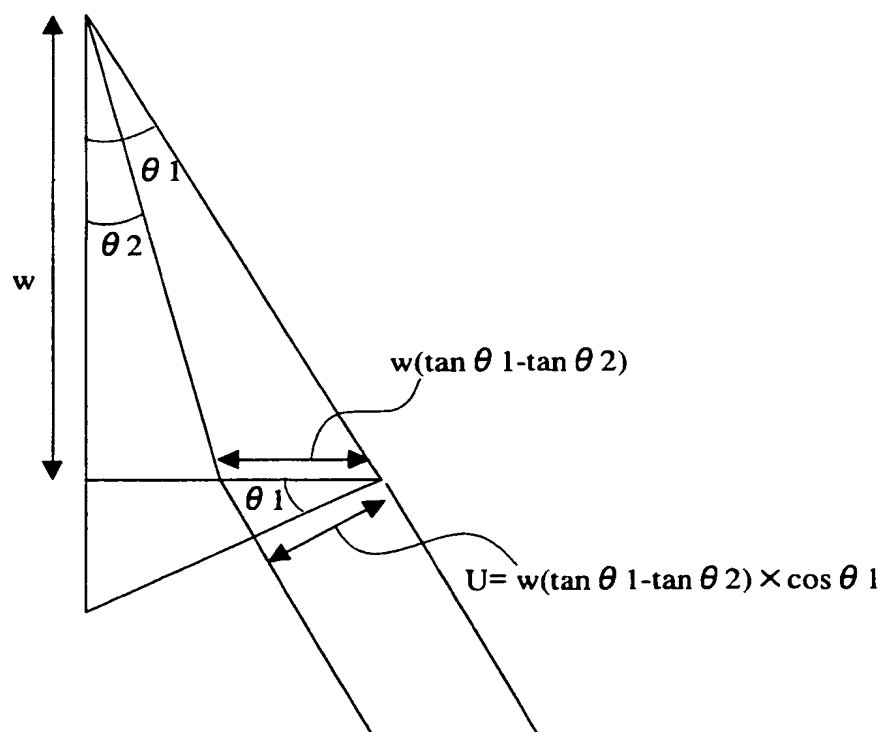


15/19

第17図

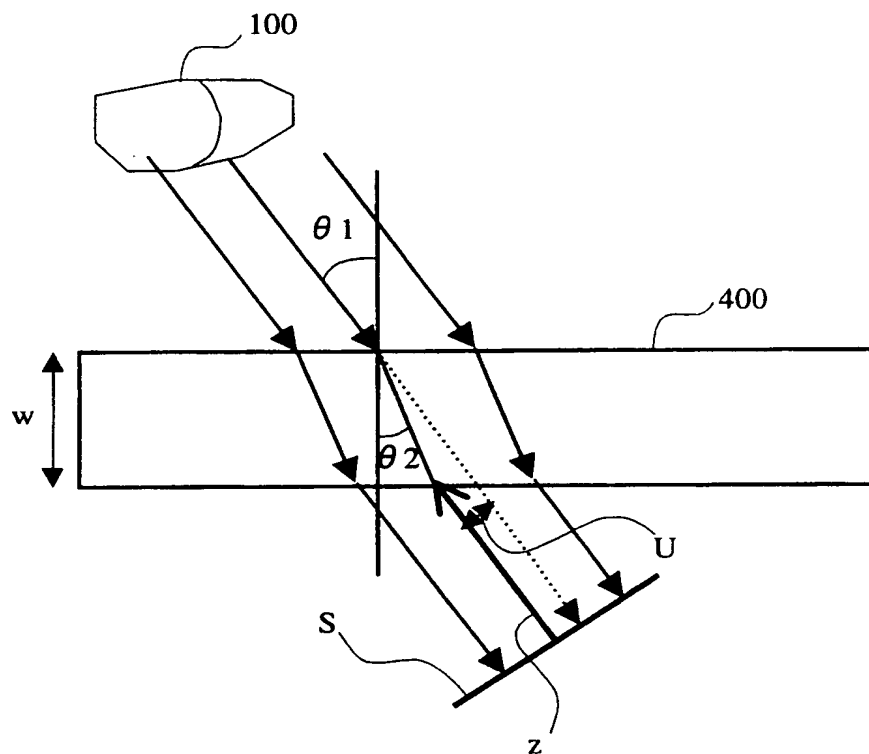


第18図





第19図





,

,

,

,

,

,

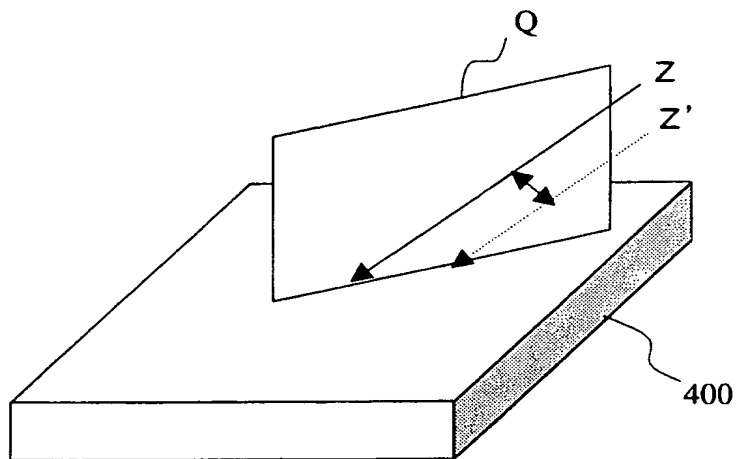
,

,

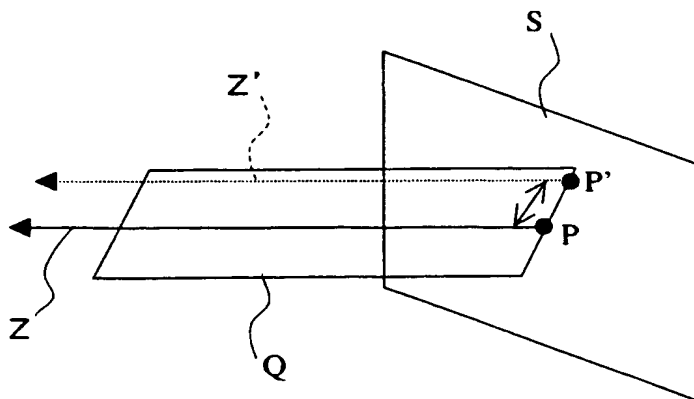
,

17/19

第20図

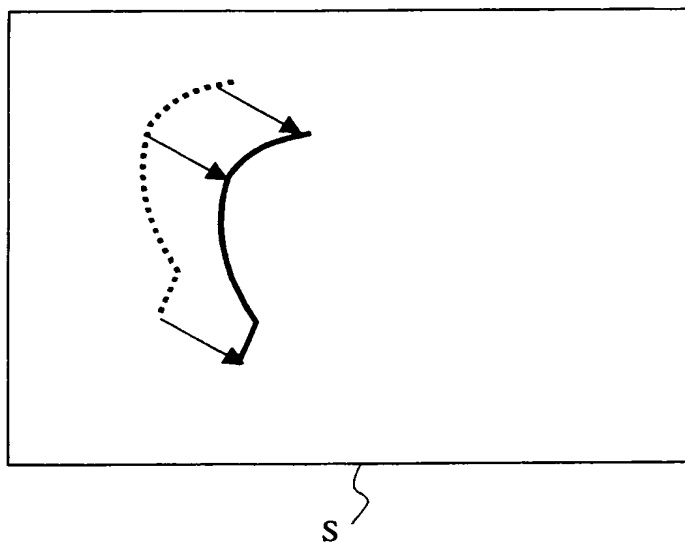


第21図

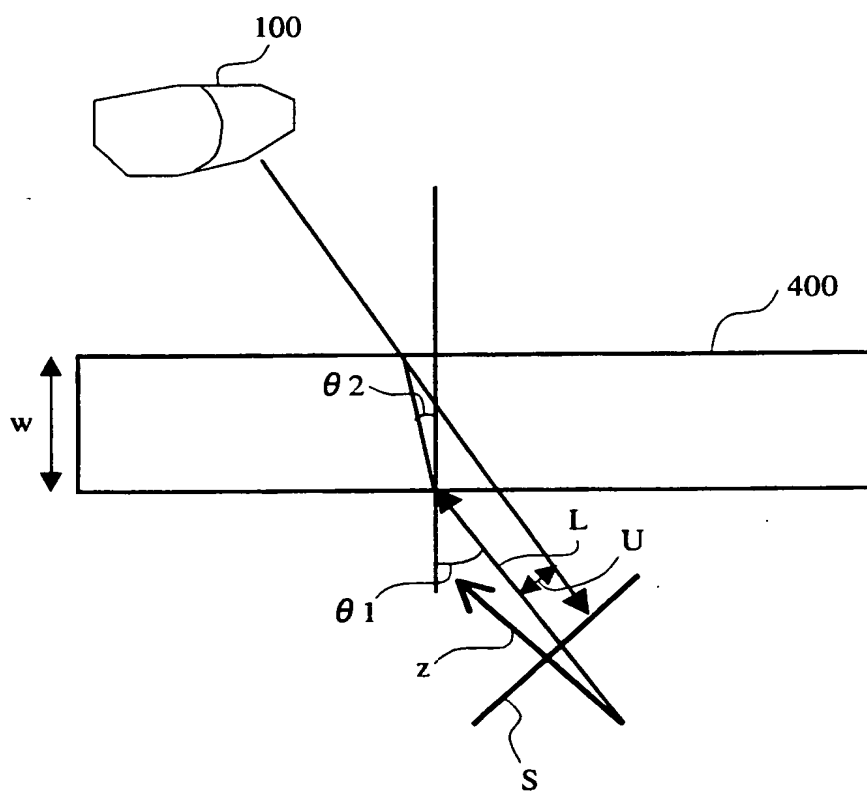




第22図



第23図





7

8

9

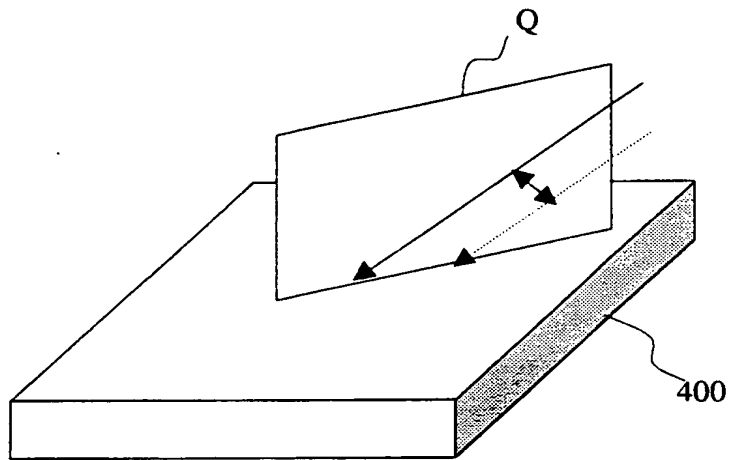
10

11

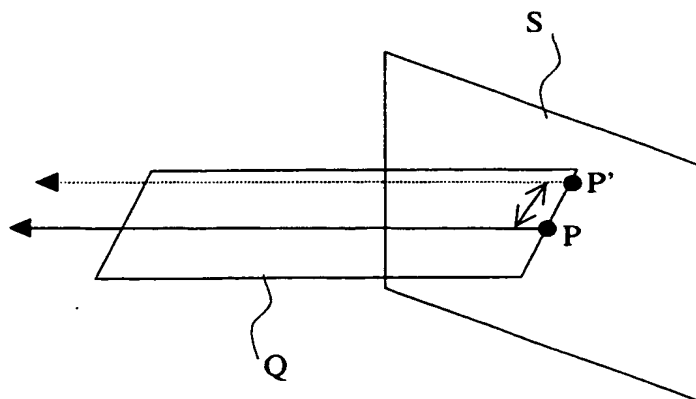
12

13

第24図



第25図





2

3

4

5

6

7

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP00/03332

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
Int.Cl.⁷ G01B11/24

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl.⁷ G01B11/00-11/30

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2000
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2000	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2000

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US, 5198877, A (Waldean A. Schulz), 30 March, 1993 (30.03.93), Full text; all drawings	1-8, 13-25
Y	Full text; all drawings & JP, 6-501774, A & EP, 553266, B & WO, 92007233, A & DE, 69126035, C	9-12
A	JP, 5-141930, A (Nippon Telegr. & Teleph. Corp. <NTT>), 08 June, 1993 (08.06.93), Full text; all drawings (Family: none)	1-8, 13-25
A	JP, 10-124704, A (Sanyo Electric Co., Ltd.), 15 May, 1998 (15.05.98), Full text; all drawings & WO, 98009253, A	1-8, 13-25
Y	JP, 5-280955, A (Fuji Photo Optical Co., Ltd.), 29 October, 1993 (29.10.93), Full text; all drawings (Family: none)	9-12
Y	JP, 5-302823, A (Fuji Photo Optical Co., Ltd.), 16 November, 1993 (16.11.93),	9-12

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.
 ☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
24 July, 2000 (24.07.00)Date of mailing of the international search report
01 August, 2000 (01.08.00)Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP00/03332

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
	Full text; all drawings (Family: none)	

国際調査報告

国際出願番号 PCT/JPO0/03332

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl.⁷ G01B11/24

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl.⁷ G01B11/00-11/30

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1922-1996年
 日本国公開実用新案公報 1971-2000年
 日本国登録実用新案公報 1994-2000年
 日本国実用新案登録公報 1996-2000年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A Y	US, 5198877, A (Waldean A. Schulz) 30. 3月. 1993 (30. 03. 93) 全文, 全図 全文, 全図 & JP, 6-501774, A & EP, 553266, B & WO, 92007233, A & DE, 69126035, C	1-8, 13-25 9-12
A	JP, 5-141930, A (日本電信電話株式会社) 8. 6月. 1993 (08. 06. 93) 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-8, 13-25

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
 「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
 「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
 「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
 「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
 「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
 「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
 「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

24. 07. 00

国際調査報告の発送日

01.08.00

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

柴田 和雄

印

2S

9113

電話番号 03-3581-1101 内線 3256

C (続き). 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	J P, 10-124704, A (三洋電機株式会社) 15. 5月. 1998 (15. 05. 98) 全文, 全図 & WO, 98009253, A	1-8, 13-25
Y	J P, 5-280955, A (富士写真光機株式会社) 29. 10月. 1993 (29. 10. 93) 全文, 全図 (ファミリーなし)	9-12
Y	J P, 5-302823, A (富士写真光機株式会社) 16. 11月. 1993 (16. 11. 93) 全文, 全図 (ファミリーなし)	9-12